



Alejandro Barradas Rebolledo

Doctor en Ciencias en Ingeniería Ambiental
por la Universidad Politécnica de Madrid

Profesor Investigador en Ingeniería Ambiental
del Instituto Tecnológico de Minatitlán

Minatitlán, Veracruz, México

2009

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	3
I. LOS RESIDUOS SÓLIDOS. CONCEPTOS BÁSICOS.	4
1.1 Clasificación de los residuos sólidos.	4
1.2 Residuos sólidos urbanos.	5
1.3 Residuos agropecuarios.	12
1.4 Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Europa.	19
1.5 La gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe	27
1.6 La gestión de residuos sólidos en México.	32
1.7 Los residuos sólidos en Veracruz	37
1.8 Marco normativo de la gestión de RSU en México.	39
II. GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.	40
2.1 EL ENFOQUE DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RSU.	40
2.2 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.	42
2.3 Reducción en el origen en términos de reciclaje.	45
2.4 Requerimientos para una política integral.	46
2.5 la planificación de la gestión integral.	48
2.6 Los instrumentos económicos.	50
III. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.	52
3.1 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN SELECTIVA.	52
3.2 Recolección selectiva de residuos orgánicos domésticos.	61
3.3 Recolección de residuos peligrosos domésticos.	62
IV. REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS.	64
4.1 La sistematización del reciclaje.	65
4.2 De estaciones de transferencia a instalaciones de recuperación.	68
4.3 Separación de RSU.	70
4.4 Nuevas tecnologías de reciclaje.	72
4.5 El mercado de los reciclados y las nuevas oportunidades.	76
V. PROCESOS DE CONVERSIÓN BIOLÓGICA.	81
5.1 Procesos aerobios.	82
5.1.1 Compostaje.	83
5.1.2 Vermicompostaje	93
5.2 Procesos anaerobios.	97

VI. MÉTODOS TÉRMICOS	.....	103
6.1 Procesamiento térmico.	.....	103
6.2 Sistemas de Incineración.	.....	104
6.3 Sistemas de Pirólisis.	.....	107
6.4 Sistemas de Gasificación.	.....	107
6.5 Hidrogenación.	.....	108
6.6 Hidrólisis.	.....	108
6.7 Tendencias europeas en el tratamiento térmico de RSU.	.....	108
6.8 Los residuos sólidos de la INCINERACIÓN.	.....	110
6.9 Producción de combustible recuperado.	.....	112
VII. DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.	.....	114
7.1 Rellenos Sanitarios.	.....	114
7.2 La práctica ingenieril actual.	.....	115
7.3 Descomposición de los residuos sólidos depositados.	.....	117
7.4 Operaciones en un relleno sanitario.	.....	118
7.5 Recuperación de energía.	.....	121
7.6 Visión futura de los rellenos sanitarios.	.....	122
7.7 Gestión del lixiviado.	.....	122
7.8 Gestión y utilización del biogás.	.....	128
7.9 Explotación de rellenos sanitarios en Europa y EUA.	.....	130
VIII. LA EDUCACIÓN Y LA CONCIENTIZACIÓN AMBIENTAL PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS.	.....	132
IX. TENDENCIAS NORMATIVAS DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y RURALES.	.....	135
9.1 El principio básico de la disposición de residuos.	.....	135
9.2 Contexto legal de la minimización de residuos.	.....	139
9.3 Política Europea en materia de residuos.	.....	141
9.4 Tendencias normativas de calidad de compost.	.....	152
X. FRONTERAS DEL CONOCIMIENTO.	.....	155
BIBLIOGRAFÍA REVISADA	.....	159

INTRODUCCIÓN

La gestión ambiental día a día se alimenta con información que se vuelve obsoleta al paso de unos cuantos meses. Pero así también se genera nueva y valiosa información como resultado de la atención puesta por científicos y tecnólogos a los aspectos que pudiesen afectar los entornos natural y antropogénico.

La gestión de los residuos sólidos ha alcanzado en muchos países un alto rango de importancia, respondiendo a los llamados internacionales por alcanzar la sustentabilidad del medio ambiente y proteger la salud pública, desde un enfoque de la economía de los recursos naturales.

Este documento es un extracto de la tesis doctoral del autor y responde, en buena parte, a las necesidades bibliográficas del Curso Especial de Titulación relacionado con la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales, llevado a cabo durante el verano-otoño de 2000. Así mismo es de utilidad para los cursos sobre Manejo Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos de la Especialización y Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental.

La información contenida en este documento muestra al lector las tendencias actuales de gestión de residuos. Busca, asimismo, motivar su participación entusiasta en la solución de los problemas locales y regionales relacionados con los residuos sólidos generados por la sociedad moderna. Cabe mencionar que es un esfuerzo más para aprovechar la actualidad de la información revisada durante el desarrollo de la investigación doctoral del autor.

La revisión bibliográfica se basa en la producción reciente de la International Solid Waste Association (ISWA), con sede en Copenhague; la Asociación Técnica para la Gestión de Residuos y Medio Ambiente (ATEGRUS), con sede en Bilbao; la Solid Waste Association of North America (SWANA), con sede en Washington; el Club Español de Residuos (CER), con sede en Madrid; en las consultas bibliográficas realizadas en las bases de datos del Gabinete de Documentación Científicas de la UPM (CEYDE) y del Centro Superior de Investigaciones Científicas de España (CSIC), y en la base de datos RESIDUOS'98; en los proyectos, avances y resultados publicados por varios municipios de EUA, Canadá, España y Latinoamérica, sobre la gestión de residuos sólidos que realizan; y en las publicaciones mas recientes de las revistas RESIDUOS, BIOCYCLE, CALIDAD AMBIENTAL, RESOURCE RECYCLING, INTEC URBE y TECNO AMBIENTE, entre otras, así como consultas de Internet.

I. LOS RESIDUOS SÓLIDOS. CONCEPTOS BÁSICOS.

Se entiende por residuo todo material que es destinado al abandono por su productor o poseedor, pudiendo resultar de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza.

Los residuos pueden clasificarse en sólidos, líquidos y gaseosos, de acuerdo a su estado físico. Agregándose los residuos pastosos, que comúnmente aparecen como producto de las actividades humanas.

1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS. Los residuos sólidos han sido clasificados de diversas maneras. Estructuralmente mantienen ciertas características desde su origen hasta su disposición final. Los diferentes usos de los materiales, su biodegradabilidad, combustibilidad, reciclabilidad, etc., juegan un papel importante en la percepción de quien los clasifica, presentándose algunas discrepancias entre una u otra clasificación.

Tratando de respetar la estructura química, el origen y destino final potencial de los residuos sólidos, se presenta la siguiente clasificación:

- ☉ **Residuos sólidos orgánicos.** Son los materiales residuales que en algún momento tuvieron vida, formaron parte de un ser vivo o derivan de los procesos de transformación de combustibles fósiles.
 - ◆ **PUTRESCIBLES.** Son los residuos que provienen de la producción o utilización de materiales naturales sin transformación estructural significativa. Por ello y por su grado de humedad mantienen un índice alto de biodegradabilidad: residuos forestales y de jardín, residuos animales, residuos de comida, heces animales, residuos agropecuarios y agroindustriales, entre otros.
 - ◆ **NO PUTRESCIBLES.** Residuos cuyas características biológicas han sido modificadas al grado que en determinadas condiciones pierden su biodegradabilidad. Comúnmente son combustibles.
 - *Naturales.* La condición determinante de la pérdida de biodegradabilidad es la falta de humedad: papel, cartón, textiles de fibras naturales, madera, entre otros.

- *Sintéticos.* Residuos no biodegradables altamente combustibles, provenientes de procesos de síntesis petroquímica: plásticos, fibras sintéticas, entre otros.

⊙ **Residuos sólidos inertes.** Residuos no biodegradables ni combustibles que provienen generalmente de la extracción, procesamiento o utilización de los recursos minerales: vidrio, metales, residuos de construcción y demolición de edificios, tierras, escombros, entre otros.

⊙ **Los dos tipos de residuos anteriores pueden ser peligrosos o no peligrosos.** Quedan definidos por una o más de las características de Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico Infeccioso. Por sus características físicas, químicas o biológicas pueden o no ser acoplados a procesos de recuperación o transformación, y en casos extremos tratarse para su incineración o confinamiento controlado.

Independientemente de su origen o estructura, los residuos sólidos son factibles de reutilizarse, recuperarse o reciclarse. La tecnología disponible, el nivel de concientización y los recursos legales son factores decisivos para llevar a cabo algún método de gestión. La disponibilidad de recursos económicos juega un papel importante, pero estos no deben ser determinantes para lograr la gestión de los residuos sólidos de una forma que armonice con el medio ambiente y la salud pública.

De acuerdo a la fuente generadora, estos pueden ser:

- Residuos Sólidos Urbanos
- Residuos de Construcción (residuos sólidos inertes)
- Residuos Agropecuarios
- Residuos Clínicos o Sanitarios
- Residuos Sólidos de Depuradoras de Agua (lodos)
- Residuos de Incineración
- Residuos Industriales

1.2 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. Los residuos sólidos urbanos (RSU), conocidos comúnmente por “basuras”, que se producen en los núcleos de población constituyen un problema para el hombre desde el momento en que su generación alcanza importantes volúmenes y, como consecuencia, empiezan a invadir su espacio vital o de esparcimiento.

Se incluyen dentro de los residuos sólidos urbanos todos los que se generan en la actividad doméstica, comercial y de servicios, así como los procedentes de la limpieza de calles, parques y jardines. Según la procedencia y la naturaleza de estos residuos se pueden clasificar en:

- **Los residuos domiciliarios** son residuos sólidos procedentes de la actividad doméstica, como residuos de la cocina, restos de comida, desperdicios de la calefacción, papeles, vidrios, material de embalaje y demás bienes de consumo, adecuados por su tamaño para ser recogidos por los servicios municipales normales. Se incluyen los residuos de domicilios colectivos, tales como cuarteles, residencias, asilos, etc.
- **Los residuos voluminosos** son residuos de origen doméstico, tales como grandes embalajes, muebles, etc., y que debido a sus dimensiones no son adecuados para su recolección por los servicios municipales normales, pero que pueden ser eliminados junto con los residuos domiciliarios.
- **Los residuos comerciales** y de servicios son los residuos generados en las distintas actividades comerciales (tiendas, mercados, almacenes, centros comerciales, etc.) y del sector de servicios (bancos, oficinas, centros de enseñanza, etc.). Por sus características específicas, no están incluidos aquí los residuos procedentes de la actividad sanitaria, ni los generados en los mataderos.
- **Los residuos de limpieza de vías y áreas públicas** son los procedentes de las actividades de limpieza de calles y paseos y de arreglo de parques y jardines (hierba cortada, hojarasca, troncos y ramas de hasta un metro de longitud, etc.)

La naturaleza de los residuos sólidos urbanos es enormemente variada y debe estudiarse en cada momento y en cada localidad, ya que, en efecto, los RSU varían:

- Según su ORIGEN, puesto que pueden ser domésticos, procedentes de industrias o de establecimientos comerciales, de la limpieza de las calles o de los edificios públicos, etcétera.
- Según el LUGAR DE PROCEDENCIA, las zonas urbanas producen más papel, plásticos y residuos de manufactura, enlatados, etc.; las zonas rurales tienen una producción de residuos más orgánica.
- Según la VARIACIÓN CLIMÁTICA, en verano se suelen consumir más verduras y frutas y en invierno se suelen producir más cenizas. El encrudecimiento de un invierno puede repercutir considerablemente en la producción de los residuos.

- Según el NIVEL DE VIDA, la población con mejor economía suele producir más residuos; en zonas deprimidas se consume menos. El nivel de vida influye también en la cantidad de basura, siendo más abundante en las zonas residenciales que en los barrios pobres. En estos últimos, además de consumirse menos, se aprovechan los bienes al máximo, usándose los envases después de vaciados, reciclando, en una palabra, la mayor parte de los materiales de desecho, revendiendo el papel y el cartón, etc. Los ciudadanos más adinerados no reutilizan las latas, cartones de embalajes, envases de vidrio, periódicos viejos y objetos variados.
- Según las VARIACIONES ESTACIONALES, en verano, con las vacaciones, se producen menos RSU en fábricas y comercios, siendo además la composición más variable en los residuos domésticos. Por otra parte, la salida de vacaciones de los ciudadanos tiene como resultado una disminución considerable de los residuos en las ciudades. Este fenómeno se da asimismo los fines de semana, con el traslado de una gran cantidad de población desde sus residencias habituales a las segundas residencias de descanso en el campo: los residuos de los que quedan en las ciudades suelen ser muy distintos a los residuos de los días laborables.

De todas estas variaciones, sin duda alguna, la más importante en la composición de los residuos es el aumento del nivel de vida, siendo también el factor más influyente a largo plazo para la gestión de los RSU. La composición de los residuos puede ir evolucionando en una ciudad de forma considerable en función del cambio de vida de sus habitantes.

La problemática de los residuos sólidos urbanos. La generación de RSU tiene una triple repercusión medioambiental: contaminación, desperdicio de recursos y necesidad de espacios para su disposición final.

Antiguamente, las basuras no eran un motivo de preocupación, ya que su eliminación se producía de forma más o menos natural. Incluso hoy día la eliminación de los residuos sólidos urbanos en algunos municipios rurales no constituye un problema, al realizarse directamente a través de la actividad agrícola y ganadera, o bien en los fogones de las cocinas caseras, aprovechando además las cenizas para el campo, lo que puede considerarse como uno de los procedimientos más primitivos.

Como causas del considerable aumento de la producción de RSU en últimos años cabe mencionar el desarrollo industrial, la actividad fabril, las aglomeraciones en torno a las ciudades e incluso, en algunos casos, el desarrollo desproporcionado de algunos municipios rurales.

Los residuos sólidos, al ser acumulados o abandonados de una forma incontrolada, crean una evidente problemática ambiental, ya que al no tomar las medidas preventivas oportunas contaminan los medios receptores (aire, suelos y aguas), afectando de una forma importante al paisaje, con la consiguiente depreciación del terreno y deterioro del entorno.

Los residuos constituyen además un problema social, cuya gestión medioambiental y económica necesita encontrar soluciones urgentes que eviten su incidencia ambiental negativa.

Cabe destacar tres aspectos importantes en esta problemática ambiental de los RSU:

- Los riesgos sanitarios, es decir, los posibles riesgos de contraer o transmitir enfermedades o lesiones a través del contacto con las basuras, si no se recogen y eliminan adecuadamente. Los depósitos incontrolados de basuras producen olores desagradables y riesgos para la salud de las personas, debido a la presencia de cantidad de roedores, insectos y otros agentes portadores de enfermedades.
- Los depósitos de basuras y los basureros incontrolados producen impactos negativos sobre los cuerpos de agua del entorno, ya que los líquidos lixiviados pueden alcanzar y contaminar fuentes superficiales o subterráneas de agua potable o de riego agrícola, así como cuerpos de agua de interés para la acuicultura y el turismo.
- El deterioro y contaminación del entorno que producen las grandes acumulaciones de basura dispersas en el territorio de forma incontrolada. Se producen molestias a las personas que viven en las proximidades por la presencia de polvo, papeles y plásticos que se extienden por los alrededores al ser transportados por el viento. Particularmente, la gran cantidad de plásticos y desechos artificiales no biodegradables constituyen un serio problema, pues producen alteraciones importantes del paisaje en las zonas próximas y a veces distantes de los lugares de descarga de basura. Incluso estos productos no biodegradables, que no se integran en el medio con el paso del tiempo y que no pueden ser mineralizados por los organismos descomponedores, pueden llegar a perjudicar e impedir totalmente los procesos de autogeneración natural de las cubiertas vegetales.

La falta de un servicio adecuado de recolección de los RSU ocasiona las acumulaciones sin control de basura que aparecen por ciudades, campo, cunetas de las carreteras y zonas de esparcimiento (humedales, lugares de recreo, etc.)

La producción, recolección, transporte y eliminación de las basuras no debería constituir un problema en ningún país, pues existen técnicas adecuadas para resolver cualquier casuística que se plantee en esta materia. Sin embargo, la escasez de recursos económicos en la gran mayoría de los municipios impide adoptar las soluciones más adecuadas.

El tema de la recuperación de materiales y desechos existentes en la basura alcanza cada día mayor auge, debido a la crisis de energía, al encarecimiento de las materias primas y al aumento de precio que algunas de ellas han experimentado en los últimos tiempos. Todo ello ha conducido a considerar seriamente la posibilidad de recuperación de materiales a través del reciclado, una vez que las basuras han sido descargadas en las plantas de tratamiento, e incluso antes, mediante la puesta en marcha de campañas de recuperación previa a través de la colocación de contenedores específicos, como en el caso del vidrio, el papel, cartón, pilas, etc., cuyos productos interesa separar del resto de la basura, bien por el alto valor que alcanzan en el mercado, o para evitar una posible contaminación por la presencia de metales pesados o productos especiales que no deben entrar en contacto con la basura.

Gestión de residuos sólidos urbanos. Tradicionalmente el camino recorrido por los residuos, desde su generación hasta su disposición final, se ha mantenido en la mayoría de los países en desarrollo, con marcadas excepciones en aquellos que aprovechan alguno de sus constituyentes. Esto, ya sea por una marcada necesidad de recursos, o en el mejor de los casos por una cultura de equilibrio con la naturaleza, transferida de generación en generación.

El manejo tradicional de los residuos sólidos urbanos, mantenido en la mayoría de las ciudades en desarrollo y de las comunidades rurales, incluye rigurosamente las siguientes etapas:

- a) Generación de los residuos y acumulación de los mismos en contenedores improvisados.
- b) Recolección domiciliaria de residuos en camiones con o sin alguna adaptación de apoyo para la carga y descarga de contenedores en cada domicilio. En algunos casos se han empleado vehículos con compresión de residuos y niveles accesibles de carga y descarga.
- c) Transporte de los residuos a los basureros.
- d) Disposición final de los residuos en basureros a cielo abierto.
- e) Recuperación de materiales aprovechables, por parte de personas de muy bajos recursos económicos y en condiciones antihigiénicas.
- f) Combustión de los residuos restantes.

Otras etapas no generalizadas, ya sean por el nivel socioeconómico de la población o por las características del lugar, pueden ser:

- a) Selección, almacenamiento y venta de los materiales aprovechables. Estas actividades se realizan previamente al depósito de los residuos en los recipientes para basura. El tipo y cantidad de materiales recuperados dependen de la oferta y la demanda del mercado en un momento dado.
- b) Combustión de los residuos para calentamiento de agua o para preparación de alimentos. Esta actividad se da mayoritariamente en el área rural y aprovecha principalmente residuos de cultivos, papel y cartón.
- c) Combustión de los residuos de jardinería. Esta etapa se realiza antes de la recolección domiciliaria. En muchas ocasiones, por falta de un buen servicio de recolección, se incorporan también los demás residuos acumulados, preferentemente residuos de papel y cartón u otros residuos combustibles, como plásticos.
- d) Acumulación de los residuos orgánicos comestibles en pequeños recipientes. Se destinan a la alimentación de animales de granja, comúnmente cerdos y aves de corral. También ocurre mayoritariamente en la zona rural y en domicilios con patios reservados para la cría de animales.

Una característica común del manejo tradicional de los residuos sólidos urbanos es el orden indisposición final, con respecto a su gestión integral, de la prioridad otorgada a las distintas etapas y alternativas posibles de valorización de los materiales potencialmente recuperables o aprovechables. La disposición final, en basureros o rellenos sanitarios, resulta ser la primera de las alternativas previstas para la destrucción o desaparición de los residuos generados. La valorización de los residuos se vuelve una alternativa catalogada como costosa y altamente tecnificada.

En la gestión tradicional de los residuos sólidos urbanos se hace a un lado que la razón principal de la comercialización de los materiales recuperados en los basureros o en los propios domicilios, es la demanda que existe de los mismos. Todas las previsiones que se realicen para reducir su generación o para recuperarlos con buena calidad aseguran su utilidad futura, desde la simple reutilización hasta su aprovechamiento como materia prima en los procesos de transformación industrial.

El reciclaje de vidrio, metal, papel y cartón y el compostaje de la fracción orgánica de los residuos se realiza en escala muy baja. La reducción en la fuente y las actividades

educativas tendientes a la minimización de los residuos son muy poco socorridas dentro del marco de la gestión tradicional de los residuos.

Los sistemas de recolección y de transporte generalmente son deficientes y la falta de recursos económicos de los organismos responsables de la gestión impide la aplicación de buenas estrategias de mejoramiento.

Debido a su crítico papel en la protección ambiental y el mejoramiento de la productividad, debería ser una prioridad para las ciudades del tercer mundo la formalización de la gestión efectiva de los residuos sólidos, sin embargo, es un servicio costoso que consume entre 20 y 50 % de los presupuestos operacionales disponibles para los servicios municipales, todavía atendiendo no más que el 70 % de la población. Los no servidos son casi siempre la población creciente de bajos ingresos concentrada en las áreas periurbanas. Es un reto formidable reducir el déficit de servicios y mantener el paso de los requerimientos de la rápida urbanización (Bartone, C. R. y Bernstein, J. D., 1993).

Villegas L., C. A. (1990), señala consideraciones económicas e institucionales para explicar la disminución o el estancamiento en la prestación del servicio de gestión y disposición de los residuos sólidos domésticos e industriales. Estima que la población de América Latina y el Caribe producen diariamente 220,000 toneladas de residuos sólidos, alcanzándose a recolectar el 70 % de la producción urbana y a disponer sanitariamente sólo el 14 %.

La regionalización ha emergido como una herramienta valiosa en la gestión de residuos sólidos municipales. Los recursos limitados para financiar las actividades de gestión y otras restricciones han llevado a muchas comunidades rurales y pequeñas comunidades a perseguir la regionalización como un medio para implantar la gestión integral de residuos y otros programas de gestión regional. Las ventajas incluyen mayor flexibilidad y economías de escala más grandes, mientras que las limitaciones incluyen metas de gestión posiblemente conflictivas y desigualdad potencial entre comunidades. La US-EPA (1994) ha emitido guías para iniciar planes de regionalización y casos de estudio que ilustran proyectos exitosos basados en la confianza pública, corporaciones públicas no lucrativas, acuerdos intergubernamentales y consejos regionales.

Hueber, D., (1991), analiza la situación de la gestión de los residuos y las opciones tecnológicas, legales y organizativas, para un plan de gestión ambiental en Costa Rica. Señala los siguientes objetivos: organización armónica entre los entes públicos y privados; leyes, reglamentos y normas técnicas que permitan un servicio de gestión de residuos eficiente y económicamente sostenible; propuestas para reducir los residuos ordinarios y

peligrosos y mejorar la capacidad para su reciclaje y reuso; diseño de un programa de educación no formal dirigido a la comunidad, para que asuma un papel activo en la solución del mal manejo de los residuos, y presentación de estrategias administrativas y concepciones tecnológicas.

1.3 RESIDUOS AGROPECUARIOS. Los residuos agropecuarios son considerados en general de naturaleza orgánica. Como tales, comparten características similares con otros residuos de origen agroindustrial y con la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos. A diferencia que los residuos agropecuarios se producen en su entorno natural, mientras que los de origen agroindustrial son generados en procesos de transformación de productos agrícolas y los urbanos se generan en el proceso de consumo, junto con otros no orgánicos.

Los residuos agropecuarios abarcan los siguientes grupos:

- Residuos agrícolas.
- Residuos forestales.
- Residuos ganaderos.
- Residuos de industrias agropecuarias.

Los residuos agropecuarios presentan algunas propiedades favorables que pueden dar origen a su aprovechamiento en los sectores energético, agrícola, ganadero e industrial.

Entre esas propiedades se hallan el poder calorífico, la riqueza en materia orgánica y el potencial de aprovechamiento como materia prima en procesos industriales.

Valor energético. La propiedad energética más importante es el poder calorífico, cuyo valor, para algunos residuos agropecuarios, oscila alrededor de 2,000 y 5,000 kcal/kg (residuos de sarmiento y residuos de pino, respectivamente).

Valor agrícola. Los residuos agropecuarios presentan propiedades favorables para su incorporación al suelo agrícola, como son:

- Riqueza en materia orgánica.
- Nutrientes de gran interés no sólo en N, P, K, sino también en oligoelementos para controlar diversos procesos fisiológicos necesarios para los cultivos.
- Abundancia de agua.
- Fuente de microorganismos necesarios para el suelo.

Para lograr el aprovechamiento agrícola de los residuos se exigen procesos de fermentación, necesarios para la obtención de un producto equilibrado con una materia orgánica estable que al llegar al suelo pueda mineralizarse y mejorar las propiedades del mismo.

Valor ganadero. Tradicionalmente, los residuos de naturaleza fibrosa han sido aprovechados por la ganadería como complemento a una dieta alimenticia. Muchos residuos agropecuarios son aprovechados desde hace siglos (pajas, residuos de huerta, residuos de frutos, etc.). Recientemente, la ganadería consume muchos subproductos y residuos derivados de procesos industriales (como primera elaboración de productos agrícolas) que se comercializan con el nombre de bagazos, tortas, pulpa, etcétera.

Muchos residuos agropecuarios presentan una composición química favorable; sin embargo, la digestibilidad de estos productos por el ganado es muy reducida o casi nula.

En los estudios sobre alimentación de ganado se ha podido comprobar que el valor energético de la hoja de olivo es muy débil. La presencia de pectinas y taninos principalmente hacen que el valor proteico real para los animales que ingieren hoja de olivo debe considerarse casi nulo. Sin embargo, puede ser un pienso en épocas de carestía y sequía para algunos animales, como ovejas y cabras.

Con el fin de aumentar la digestibilidad de algunos residuos agrícolas de naturaleza fibrosa, como pajas, cañote de maíz e incluso hoja de olivo, se han realizado tratamientos químicos basándose en soluciones de sosa y amoníaco anhidro. Los resultados han sido de interés y resultan ser una vía interesante de aprovechamiento de estos residuos agrícolas, misma que es aplicada en forma industrial en algunos países europeos.

Valor industrial. Los residuos pueden intervenir como materia prima en muchos procesos industriales. Así, en los procesos de obtención de celulosa y papel o cartón pueden aprovecharse residuos agrícolas, como pajas, residuos forestales, leñas, o residuos urbanos, como papel usado. Mediante otros procesos industriales se obtienen aceites o productos químicos a partir de residuos leñosos.

La problemática de los residuos agropecuarios. El hombre primitivo se servía de los medios que encontraba en el campo para atender sus necesidades primarias de alimentación, vestido, defensa y vivienda.

La agricultura y la ganadería, base del desarrollo de nuestra civilización en siglos pasados, han sufrido una evolución rápida con la implantación de nuevas tecnologías que han permitido un aumento en los rendimientos (mayor producción por hectárea e índices de

transformación animal) y un mayor control sobre los recursos, ocasionando al mismo tiempo un impacto en el entorno (degradación del agua, del aire, del suelo).

Con el desarrollo de la agricultura y ganadería, el hombre obtiene una serie de productos de interés que destina con preferencia a su alimentación y vestido. Estos productos se generan junto con otros subproductos que se destinan, en el mejor de los casos, a cubrir otras necesidades, como fuente energética, vivienda, alimentación del ganado, utensilios, etcétera.

Cuando la sociedad se industrializa, se intensifica la producción y aumenta la concentración humana en los núcleos de población, y los subproductos ya no tienen ninguna utilidad, transformándose en residuos que “hay que tirar”. Estos residuos, que en un principio se descomponían en la naturaleza, van aumentando de volumen, se acumulan sin descomponerse y van originando problemas a una sociedad cada vez más exigente. En estas circunstancias, el hombre agudiza su percepción acerca de que los recursos que se extraen de la naturaleza no son ilimitados, sino al contrario, cada vez más escasos y de más difícil obtención. Una de las soluciones racionales a ambos problemas consiste en el aprovechamiento de los residuos, ya sea con fines agropecuarios o energéticos. Sin embargo, gran parte de los residuos aprovechables se presentan en circunstancias tales que sus propiedades no son estimadas. Así ocurre con las leñas de los montes alejados de los focos de consumo o con la generación de estiércol en grandes granjas que no disponen de suelo agrícola.

La excesiva mecanización ha facilitado la erosión del suelo y el riego incorrecto, la salinización. La aplicación generalizada de controles químicos de plagas ha permitido la acumulación de tóxicos en la cadena trófica, la industria agroalimentaria y la contaminación de las aguas. Los fertilizantes, la eutroficación y la salinización, factores que han ocasionado un impacto ambiental directo en las zonas rurales, y una incidencia indirecta en el medio urbano.

En las zonas rurales, los problemas ambientales más graves proceden de las actividades agrícolas y ganaderas (aguas residuales, residuos, desertificación, etc.). Es la ganadería una de las actividades que inciden de una forma más significativa sobre el medio ambiente de los municipios rurales.

Gestión de residuos sólidos agropecuarios. Tradicionalmente la eliminación de los residuos agropecuarios en los países en desarrollo, ha sido una actividad realizada sin exigencias legales ni fines de aprovechamiento. Esto es debido a que la agricultura está poco tecnificada y la ganadería ocurre de manera extensiva, dispersando los residuos

generados. No así cuando se cuenta con agroindustrias, granjas, viveros, establos u otro tipo de instalaciones que concentran la generación de los residuos.

La gestión de los residuos agropecuarios contempla la incineración de los vegetales residuales de los cultivos y cosechas, la dispersión de las excretas de los animales de granja en las áreas de cultivo o forestales, y en el mejor de los casos, implica procesos de compostaje y vermicompostaje. De cualquier modo, la idea que domina al sector agropecuario tradicional es que los residuos que sus actividades generan no requieren tratamiento alguno.

Tecnologías para el tratamiento de residuos agropecuarios. En el campo de los residuos de origen agrícola y ganadero existen desde tecnologías simples hasta muy sofisticadas para el tratamiento de los mismos. En este caso, debido a las características de los residuos y a las apreciaciones de los agricultores y ganaderos de los países desarrollados, la gestión de los residuos tiende hacia el aprovechamiento de los mismos, acelerando los procesos naturales, generando, entre otras cosas, energía (por incineración o por digestión anaerobia), mejoradores del suelo (por compostaje), alimentos para otros animales y materias primas para procesos de transformación.

Los residuos agropecuarios potencialmente contaminan con nitrógeno, principalmente amoniacal procedente de las proteínas; fósforo, que en exceso provoca eutroficación; materia orgánica, con demandas altas de oxígeno; y metales pesados, con los riesgos de acumulación.

Las tecnologías propias de la gestión integral de los residuos agropecuarios mantienen afinidad con las alternativas de valorización de la materia orgánica contenida en los RSU, y de acuerdo a Solans, R. (1998) implican principalmente:

- *Nitrificación y desnitrificación bacterio-enzimática.* Se aplica para purines de porcino, con reducción de hasta el 50 % del nitrógeno total inicial en un periodo de un mes.
- *Separación de las fracciones sólida y líquida.* Es un pretratamiento común para otras tecnologías, la fracción sólida es compostable y la fracción líquida alcanza menor carga orgánica.
- *Evaporación.* Se obtiene una fracción sólida concentrada, compostable. La fracción líquida se pierde en forma de vapor. Puede aplicarse para purines, pero requiere mucho espacio.

- *Depuración*. Es un tratamiento para purines en casos extremos, ya que permite la depuración total para vertido en cauce.
- *Compostaje y co-compostaje con RSU (fracción orgánica)*. Se aplica mediante mezclas de estiércoles sólidos u otros soporte vegetales con purines. Es conveniente en zonas de consumo potencial de compost.
- *Digestión anaerobia para producción de biogas (metanización)*. Este tratamiento permite la obtención de energía eléctrica y energía térmica, reduce la DBO y la DQO y produce compost.
- *Vermicompostaje*. Tecnología aplicable para estiércoles, residuos sólidos agroindustriales y la fracción orgánica de RSU. Produce un compost de excelente calidad. El organismo de transformación biológica más común es la lombriz *Eisenia spp.*, la que en grandes instalaciones resulta como subproducto del proceso, siendo aprovechada como fuente de proteína.

Otras actividades de interés que complementan la gestión de estos residuos son:

- Educación y concientización del sector agropecuario.
- Separación y recolección de residuos.
- Transporte de residuos frescos, productos y subproductos.

Los residuos agropecuarios como sustrato para la producción de setas comestibles. Al material sobre el que crecen los hongos se le llama sustrato (“compost” en el caso del champiñón), al cual degradan para su alimentación. Por tal motivo la naturaleza química del sustrato, está en relación directa con las necesidades de crecimiento del hongo. Hay hongos que necesitan más nitrógeno que otros como sucede con el champiñón, que crece en suelos abonados o en sustratos enriquecidos con abono como estiércol de caballo fino (debido a cuidadosa dieta, lo que hace que dicho estiércol sea homogéneo) y en donde las orejas blancas o *Pleurotus* y otros hongos no pueden crecer. Además de la naturaleza química de los sustratos están los factores físico- químicos como el pH y textura del mismo y factores ambientales como la humedad y la temperatura, los cuales se tratarán más adelante.

Las especies *Pleurotus* toman de la degradación del complejo lignina-celulosa sus materiales nutritivos, por lo que crecen sobre maderas o productos relacionados con los mismos, como muchos residuos agropecuarios. Algunos hongos requieren que el sustrato esté poco degradado como el caso de *Volvariella* y *Coprinus*, no así otras como *Pleurotus* que no

necesitan descomposición previa del sustrato. En general se puede decir que existe una sucesión ecológica en el sustrato, ya que unos hongos preparan el sustrato para otros y así se ve como ciertos hongos crecen primero y después otros en el mismo sustrato, a medida que éste se va degradando. Como consecuencia de este proceso en el sustrato, el pH del mismo irá cambiando.

La pared celular de los tejidos vegetales está compuesta de celulosa, además de hemicelulosa y lignina, que son sustancias químicas muy complejas, difíciles de degradar y que solamente los hongos (y las bacterias) descomponen debido a que poseen enzimas que rompen tales moléculas y liberan a la celulosa y hemicelulosa de la lignina.

De estas sustancias, la lignina es la más difícil de degradar y dependiendo de cómo los hongos la ataquen se clasifican en hongos de pudrición clara y de pudrición oscura (o de color café).

Los primeros tienen la capacidad de metabolizar totalmente la lignina, como el caso de *Pleurotus*, *Lentinus*, *Volvarilla*, y *Auricularia* (son las especies llamadas lignocelulíticas).

Los hongos de pudrición oscura solo modifican la estructura de la lignina, sin llegar a degradarla totalmente, pero si liberan la celulosa y las hemicelulosas que aprovechan. Se ha observado que en las zonas tropicales se promueve mas la lignificación de las plantas que crecen en climas templados.

Como se ha dicho ya las especies de *Pleurotus* son lignocelulíticas por lo que tienen la capacidad de degradar muchos sustratos, como son los esquilmos y los desechos agroindustriales. Se pueden utilizar sustratos catalogados como basura, entre los que figuran gran números de productos, tales como telas, e incluso pañales desechables, los cuales se han experimentado con éxito en la Universidad Autónoma Metropolitana de México.

En los países centroeuropeos ya se realizaba un cultivo rudimentario desde hace bastante años, colocando en sitios próximos a las viviendas, los tocones y las trozas que se recogían en los bosques con el hongo. Pero los trabajos experimentales sobre el cultivo de *Pleurotus* sobre madera se iniciaron en la década de los sesenta en Hungría, Alemania y Checoslovaquia, extendiéndose después el cultivo por el resto de Europa. También en esa década se empezó a cultivar sobre otros sustratos, pero la verdadera difusión del cultivo sobre paja de cereales tuvo lugar en los años setenta. Desde entonces el proceso ha progresado de tal manera que en algunos países como Italia o Hungría puede hablarse de cultivo en plan industrial con producciones de miles de toneladas.

Guzmán, G. et al. (1993), reportan que se hizo una revisión y estimación de la producción de los residuos agroindustriales potencialmente utilizables para el cultivo de los hongos comestibles en México y señalan que en el país se producen más de 11,000.000 de toneladas anuales de esquilmos de paja de ajonjolí, arroz, cártamo, cebada, trigo y sorgo y que de pulpa de café se producen casi 700,000 toneladas anuales y de bagazo de caña de azúcar mas de 12,000.000 de toneladas anuales.

Tomando en cuenta la producción de los hongos se podrían producir de *Pleurotus* tan solo en la pulpa de café 110,000 toneladas anuales. Los substratos para el cultivo de los hongos se pueden clasificar en seis categorías, a saber:

- Pajas de ajonjolí, arroz, cártamo, cebada, sorgo, trigo, avena y zacates en general.
- Rastrojos de maíz, mijo, garbanzo, frijol, etc.
- Bagazos de caña de azúcar, de citronela, maguey tequilero, henequén, uva etc.
- Forestales, tales como, aserrín, viruta, troncos y ramas.
- Otros: papel, olote y tamo de maíz, hojas (brácteas) de piña, fibra de coco, lirio acuático, hojas y tallos (cañones) de plátanos, desechos de la industria textil (como algodón), etc.

Referente a la composición química del substrato que se emplee, éste debe de contener todos los nutrimentos necesarios para el crecimiento del hongo. Entre ellos deben de estar la celulosa, las hemicelulosas y la lignina, que funcionan como fuentes principales de carbono y nitrógeno. Asimismo, es recomendable que el substrato esté libre de sustancias antifisiológicas que afectan el crecimiento del micelio, como son tanino, fenoles, ácidos, resinas, compuestos aromáticos, etc., provenientes de fumigaciones o de malos manejos.

La bibliografía de Guzmán y Salmones (1990) se concentra en las técnicas de cultivo de los hongos comestibles silvestres en México, principalmente en las orejas blancas o comercialmente llamadas setas adscritas a especies de *Pleuotus djamour* y *Pleurotus ostreatus* sobre residuos Agroindustriales o esquilmos, pero también se da información sobre las orejas gelatinosas (Auricularias) el hongo de encino (*Lentinus boryanus* el equivalente americano del shiitake japonés *Lentinus edodes*), el hongo del pino (*Lentinus lepideus*) en troncos o virutas de troncos y el hongo rosado (*Volvariella volvacea*), sobre diversos residuos agroindustriales y esquilmos, con el propósito de suplir una ayuda de eficiencia bibliográfica no tan solo nacional sino en América Latina y en general en los países de habla hispana y contribuir al desarrollo de esa importante actividad socioeconómica y ecológica.

Pleurotus djamour y especies afines, *Lentinus boryanus*, *Lentinus edodes*, *Lentinus lepideus*, *Volvariella volvacea* y las citadas especies de *Auricularia* son los hongos susceptibles de

cultivarse. Comercialmente además de *Agaricus bisporus* y *Agaricus bitorquis*. De las especies tratadas hay bastante bibliografía en el extranjero y cierta experiencia en México.

Clásicamente se han cultivado desde hace muchos años el champiñón y el Shiitake, el primero en casi todo el mundo y el segundo en los países asiáticos del este.

El champiñón fue, además, el primer hongo que se cultivó en México hace mas de 40 años el cual fue introducido de Europa a través de cepas de *Agaricus bisporus* con sus variedades la típica y la albidus. Posteriormente se introdujo el *Agaricus bitorquis*, aunque éste crece silvestre en el país, no así *Agaricus bisporus* que únicamente es de cultivo. Otros hongos que se cultivan a nivel comercial en el mundo son *Volvariella volvacea* y afines, *Flamulina velutipes*, *Pholiota nameko*, *Auricularia fuscusuccinea*, *Auricularia polytricha* y *Tremella fusiformis*, todos ellos en el E y SE de Asia.

El cultivo de *Pleurotus ostreatus* iniciado en Europa se ha ido extendiendo en Asia y E.U.A. y hace algunos años en América Latina. En México en 1974 se inicio su cultivo comercial con cepas y tecnología europea bajo el nombre comercial de seta *Pleurotus ostreatus* y afines. Por su fácil adaptación y manejo y bajos costos en el cultivo es el hongo que día a día se cultiva más. Comercialmente poco a poco se desplaza a los mercados internacionales de las especies competitivas como el champiñón, el shiitake y otros.

1.4 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EUROPA. La gestión europea de los residuos sólidos, enmarcada en la política del desarrollo sostenible, ha tenido que tomar en cuenta los principios generales de la eco-eficiencia. De ahí que los tomadores de decisiones determinen la mejor estrategia de gestión de acuerdo a los objetivos específicos de la gestión de los residuos, al mérito ambiental y al mérito socioeconómico. Este último considera el impacto en la producción primaria, la aceptabilidad social y la factibilidad de implantación (Lemmes, B. 1998).

La jerarquía de la gestión de residuos propuesta hace una década mantiene aún vigentes los principios generales de prevención, recuperación y disposición final. Los problemas surgen cuando se discute en que posición queda cierta tecnología. La industria ha salido adelante con los esquemas de reducción de residuos antes que la legislación impusiera su reducción. Obviamente hubo otros factores económicos suficientes para asegurar tal tendencia de minimización de residuos.

Lemmes, B. (1998) concluye en su análisis de la jerarquía de residuos, que la legislación para la gestión de residuos debería ser suficientemente flexible y tomar en cuenta los

requerimientos socio-políticos y el estado del arte del desarrollo tecnológico para tratar con las condiciones actuales y los desarrollos tecnológicos futuros.

Así mismo, discute las tres tendencias de gestión de residuos de la UE, siendo estas las siguientes:

- Imposición de metas de recuperación cada vez más altas.
- La restricción del depósito de residuos orgánicos en rellenos sanitarios.
- La implantación de un valor calorífico mínimo para los residuos que serán utilizados para la generación de energía.

También establece que la tendencia general va en dirección de la recolección selectiva en la fuente y los tratamientos biológicos de la fracción orgánica.

Composición de los RSU. La composición de la basura es determinante para su proceso de eliminación: los RSU con un alto contenido de papel y cartón pueden ser eliminados por incineración con mayor facilidad, puesto que pueden alcanzar un poder calorífico mayor (unas 2,000 kcal/kg). Los RSU con un alto porcentaje de materia orgánica sin mezclas de otros residuos son fácilmente aprovechables para la fabricación de compost tras una separación (manual o mecánica) de metales, plásticos y vidrios.

La composición de los residuos sólidos urbanos en algunas ciudades españolas y en Europa Occidental se presenta en la tabla I.1. La recuperación parcial, realizada en algunos casos por los mismos productores, las variaciones diarias estacionales en la producción y otras variables ya mencionadas, como el nivel de vida, clima, situación de los núcleos de población, etc., impiden una evaluación ajustada de la producción de residuos.

Tabla I.1. Composición porcentual de los RSU en algunas ciudades españolas y Europa.

RESIDUO	CÓRDOBA ²	BARCELONA ²	MADRID ³	ESPAÑA ¹	EUROPA ¹
Materia Orgánica	54.9	46.7	49.4	44.3	39
Papel	17.4	20.5	20.3	21.2	23
Plásticos	12.4	10.9	12.9	10.7	9
Vidrio	6.3	7.8	6.6	6.9	7
Metales	4.1	3.8	3.7	4.1	4
Textiles	3.6	2.4	3.6	4.2	6
Varios: goma, caucho, pilas, madera, otros.	1.3	7.9	3.5	8.6	12

¹Fuente: EOI. El Medio Ambiente en España. 1996

²Fuente: Berbel V., J., Porcel S., O. y Jiménez V., F. 1997

³Fuente: Anuario Estadístico Año 1996. Ayuntamiento de Madrid.

Un paso preliminar esencial en la gestión de residuos sólidos municipales es la determinación exacta de las cantidades y composición de los residuos. Abu Qdais, H. A.; Hamoda, M. F.; y Newham, J. (1997), llevaron a cabo un estudio para probar un procedimiento para la determinación de esos parámetros en la fuente de generación (los domicilios), más que en las estaciones de transferencia o sitios de disposición, como usualmente se ha hecho. Con un muestreo diseñado estadísticamente se determinaron la tasa de generación media en kg por persona por día y los porcentajes de varios componentes de los residuos sólidos residenciales en la ciudad de Abu Dhabi. El muestreo cubrió 40 casas con diferentes niveles socioeconómicos, totalizando 840 muestras. El estudio mostró una generación media de 1.76 kg/persona por día. El análisis de regresión lineal reveló que esta tasa es dependiente del nivel de ingreso económico con un incremento de cerca de 35 % para los residentes de ingreso alto sobre la tasa media. Los residuos contenían aproximadamente 50 % de residuos alimenticios. El análisis de distribución de frecuencias de los datos de composición de residuos indicaron que la fracción alimenticia está distribuida normalmente, mientras que las otras componentes no muestran un patrón de distribución normal.

En los países desarrollados, la producción diaria oscila entre 1 y 1.5 kg de RSU domésticos por habitante. En España y en grandes ciudades como Madrid y Barcelona, esta cifra gira en torno a 1 kg/habitante/día, mientras que en municipios muy pequeños, con menos de 1,000 habitantes (que constituyen más de la mitad de los existentes en el país), las producciones son muy bajas, debido al reciclado natural: la fracción orgánica se utiliza para alimentar animales y la fracción no orgánica se suele quemar.

En la Unión Europea (EU-12) la producción de residuos sólidos urbanos ha crecido de manera continua más del 45% en los últimos 20 años, a pesar del débil crecimiento de su población. Se considera que el incremento de producción de RSU es exponencial respecto al incremento del nivel de vida. Esto implica la necesidad de políticas de reducción en origen, reutilización y reciclado.

Respecto al destino final de los RSU, la incineración se mantiene en un 22 %, al considerar el residuo como combustible o recurso energético.

La generación de residuos domésticos en algunos países del mundo, que se muestra en la tabla I.2, permite apreciar la relación mencionada con el nivel de vida.

La problemática de los residuos en España está comprendida por la alta generación de los residuos producidos por las explotaciones agropecuarias y forestales, siendo los más

cuantiosos, superando el 50 % del total producido. Por el contrario, los residuos industriales son los de menor cuantía, con un 5.6 %. Entre estos, los residuos tóxicos y peligrosos representan solamente el 1.2 % del total producido. Entre los residuos sólidos urbanos, los domésticos representan el 5.2 % del total nacional.

Tabla I.2. Comparación entre la producción de residuos domésticos de Europa occidental y otros países (1990).

PAÍS	PRODUCCIÓN DE RSU (kg/habitante año)	PAÍS	PRODUCCIÓN DE RSU (kg/habitante año)
Noruega	472	Portugal	257
Suecia	374	Italia	348
Dinamarca	475	Grecia	296
Irlanda	312	Bélgica	441
Reino Unido	348	Austria	620
Holanda	497	Alemania	350
Suiza	342	EUA	1,179
Francia	360	Japón	394
España	322	Nigeria	18

Fuente: EOI. El medio ambiente en España. 1996

La producción total estimada para 1994 fue de 275.7 millones de toneladas de residuos, de los cuales 143.9 millones son forestales y agropecuarios, 70 millones son mineros, 46.3 millones son sólidos urbanos (construcción, lodos y domésticos) y 15.4 millones son industriales (inertes y tóxicos y peligrosos).

Por término medio se puede dar para España una cifra de producción de basuras entre 0.4 y 0.6 kg/habitante /día, con una marcada tendencia al incremento de este valor, lo cual arroja un promedio de 180 a 220 kg/habitante/año.

Opciones de eliminación de RSU. El destino final de los residuos domésticos en España incluye todavía un 24.7 % en tiraderos incontrolados, 4.4 % incineración, 12.4 % compostaje y el 58.5 % restante en rellenos sanitarios (EOI, 1996). La tabla I.3 muestra el destino de los residuos domésticos en España en 1994.

Se infiere, por lo tanto, que actualmente la disposición de los residuos en basureros es la práctica más común y así mismo, como ya es sabido, la que provoca mayores problemas.

Se prevé que en los próximos años ocurran cambios significativos en relación con la distribución del destino final de los residuos, ya que las más recientes directivas europeas relativas a residuos sólidos han influido en las metas de cada estado miembro. Así, la gestión

de residuos sólidos presente y futura incluye mayor compostaje de la fracción orgánica, más residuos desviados hacia el reciclaje, mayor aprovechamiento energético de los residuos combustibles y, en consecuencia, menor cantidad de residuos destinados a los rellenos sanitarios. Los que deberán cumplir con un mínimo de control ambiental, tal que asegure la calidad del entorno y de la salud humana.

Tabla I.3. Eliminación y Tratamiento de los RSU en España

TRATAMIENTO	FRACCIÓN (%)
RELLENO SANITARIO	58.48
TIRADEROS O BASUREROS	24.75
COMPOSTAJE	12.38
INCINERACIÓN Con recuperación de energía	3.34
Sin recuperación de energía	1.04

Fuente: Anuario Estadístico 1994, MOPTMA y Gallego R.J. 1997

De acuerdo a Gallego R. J. (1997) la primera dificultad encontrada cuando se va a describir la situación técnica de los rellenos sanitarios existentes en España (alrededor de 150) es su heterogeneidad: diferentes orígenes, diferentes circunstancias locales, etc.

En general, las áreas de disposición final en España presentan la siguiente situación técnica:

Impermeabilidad

- ⊙ 36 % están localizadas en suelos arcillosos o tienen protección artificial basada en el uso de arcilla.
- ⊙ 12 % tienen instaladas sistemas de impermeabilización artificial basados en láminas de polietileno de alta densidad (HDPE).
- ⊙ 18 % están localizadas sobre otro tipo de suelos.

Gestión de lixiviados

- ⊙ 82 % tiene sistemas de colección de lixiviados.
- ⊙ 16 % tienen sistemas de almacenamiento y evaporación de lixiviados.
- ⊙ 26 % efectúan recirculación de lixiviados.
- ⊙ 4 % tienen instalaciones de purificación de lixiviados.
- ⊙ 34 % descargan sus lixiviados a las plantas depuradoras de aguas residuales.

Gestión de gases

- ⊙ 30 % tienen sistemas pasivos de colección de gases.

- 12 % tienen sistemas activos de colección de gases.
- 10 % eliminan los gases por combustión.
- 6 % usan la energía del gas.

Tabla I.4. Instalaciones de eliminación de residuos (1990)

PAÍS	RELLENOS SANITARIOS	INCINERADORAS	PLANTAS DE ELIMINACIÓN
Alemania (1987)	10,400	162	450
Austria	160	4	23
Bélgica	30	9	8
España	94	17*	33
Francia	484	306	76
Grecia		1	
Holanda	373	8	
Italia (1991)	1,463	204	230
Noruega	500	50	
Portugal (1987)	303		2
Reino unido	4,193	212	122
Suecia (1991)	282	23	
Suiza	60	31	

Fuente: EOI. El medio ambiente en España. 1996

* 17 pequeñas instalaciones de incineración hospitalaria y de plantas industriales en España.

Gestión de residuos sólidos en Dinamarca (Danish EPA, 1994). Desde finales de los 80s en Dinamarca se ha dado alta prioridad a la solución del problema de los residuos. Ello respondiendo al hecho que, por un lado, los residuos pueden aprovecharse como un recurso, y por otro lado, la gestión inapropiada tiene un impacto negativo en el ambiente natural y en el ambiente de trabajo.

Tabla I.5. Generación de residuos sólidos en Dinamarca (1993)

FUENTE	Ton x 10 ⁶
DOMÉSTICOS	2.3
INDUSTRIA DE MANUFACTURA, COMERCIO Y OFICINAS	2.5
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	2.4
LODOS DE DEPURADORA	1.0
RESIDUOS DE INCINERADORAS	1.4
T O T A L	9.6

La política de residuos sólidos en Dinamarca. El Plan de Acción Gubernamental sobre Residuos y Reciclaje 1993-97 asigna diferentes niveles de prioridad a los métodos de prevención y disposición de residuos:

- Reducción en la fuente.
- Reciclaje. La meta es reciclar el 50 % de todos los residuos.
- Incineración de todos los residuos que no pueden reciclarse y usar la energía producida para calefacción y generación de electricidad.
- La prioridad más baja se da al depósito en basureros o rellenos.

La legislación danesa provee herramientas administrativas, varias herramientas financieras, premios que son otorgados para las actividades que promueven el uso de tecnologías más limpias o el reciclaje de productos, materiales y productos de desecho, etc. La Ley de Protección Ambiental y las ordenanzas relacionadas son administradas por las autoridades locales, considerando al residuo y al reciclaje como un todo.

La clasificación de los residuos sólidos en Dinamarca deja entrever la atención que se le asigna a su gestión. Misma que se aprecia mejor al observar la tabla I.7, en la que se pueden apreciar los niveles de reciclaje alcanzados en los últimos años.

Tabla I.6. Clasificación de los residuos sólidos

RESIDUO SÓLIDO	% DEL TOTAL
Papel y envases de vidrio	6
Residuos domésticos orgánicos	5
Residuos de construcción	25
Cenizas de incineradoras	4
Lodos de depuradora	11
Residuos clínicos especiales	0.1
Aceite y residuos químicos	2
Suelo contaminado: suelo excavado	2,600 sitios, 550,000 Ton

Respecto a los tratamientos de recuperación de los materiales valorizables, se han establecido en Dinamarca algunas restricciones, tanto en los procesos de fabricación como en el ámbito domiciliario. Entre las cuales sobresalen las que se relacionan a continuación.

- Se ha prohibido la venta de cervezas y refrescos en latas de aluminio.

- Se estudia la viabilidad de un sistema donde los residuos orgánicos domésticos se clasifican en la fuente y posteriormente son enviados a compostaje y producción de biogás.
- Se ha introducido una multa sobre los residuos de construcción que no se reciclan. Como resultado se ha alcanzado la tasa de reciclaje mostrada.
- Existen requisitos especiales para el reciclaje de cenizas y escorias para propósitos de construcción.

Para asegurar el uso ambientalmente seguro de los lodos de tratamiento de aguas residuales, se han establecido reglas como la calidad de los lodos, incluyendo límites máximos para metales pesados y contenido de nutrientes.

Tabla I.7. Valores de recuperación de residuos sólidos en Dinamarca

RESIDUO SÓLIDO	TRATAMIENTO	1994		META
- VIDRIO RETORNABLE - NO RETORNABLE	Reciclaje o Rellenado, con recolección doméstica y centralizada	98.5 % 60 %		1997: 80 %
PAPEL Y CARTÓN	Reciclaje, con recolección doméstica y centralizada	35 %		1997: 50 %
RESIDUOS DOMÉSTICOS	Reciclaje 9 plantas de compostaje 3 plantas de biogas	6 %		2000: 40-50 % 2000: 20-25 %
RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN	Rellenos sanitarios Rellenos sobre el mar, etc. Demolición y reciclaje: 20 plantas móviles y 10 plantas estacionarias	20 % 17 % 17 % 46 %		1997: 60 %
RESIDUOS DE INCINERADORAS	Reciclaje (escorias) de 32 incineradoras	60 %		1997: 65 %
LODOS DE DEPURADORA	Incineración Relleno sanitario, etc. Dispersión en suelos agrícolas	25 % 19 % 56 %		1997: 50 %
RESIDUOS CLÍNICOS ESPECIALES	Incineración (condiciones ambientales)	100 %		
ACEITES USADOS (A) Y RESIDUOS QUÍMICOS (Q)	Clasificación, procesamiento, reciclaje o incineración por la Empresa del estado o Tratados por otras empresas	A % 30 70	Q % 60 40	
TIERRA CONTAMINADA	Depositada sin tratamiento Tratamiento biológico Tratamiento térmico Eliminación y extracción	50 % 35 % 10 % 5 %		Calidad del suelo tratado = Calidad del suelo natural

Con respecto a la recuperación de residuos especiales, en 1994 existían 19 centros principales de recepción de aceites usados y residuos químicos.

1.5 LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

(Calvo R. F., Szantó N. M. y Muñoz J. J., 1998). La gestión de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe evoluciona paralelamente al crecimiento económico e industrial de la región. Tal gestión ya se ha identificado como un problema desde hace varias décadas, adoptando soluciones parciales que hoy día no acogen a todos los países de la región ni las necesidades de gestión necesarias. Así también se ha convertido en un tema político permanente en el cuál se intentan aplicar nuevos conceptos relacionados con la financiación de los servicios y la mayor participación del sector privado, así como una insistente participación de la población en cada uno de ellos.

Son muchos los diagnósticos que diferentes países realizan al respecto para proporcionar un mayor aporte al sector de los residuos sólidos en la región, intentando acercarse al concepto de desarrollo sostenible promulgado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, CNUMAD 92, en la que se primicia reducir la generación de residuos, el reciclaje, la reutilización, tratamiento de los residuos y la disposición final de los mismos de manera ambientalmente segura.

Entre los análisis sectoriales realizados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) se revela que el sector correspondiente a los residuos sólidos se caracteriza por la falta de políticas y de planes nacionales. No existe ninguna instancia gubernamental de rango nacional responsable de la gestión de los residuos sólidos, sino que la responsabilidad normalmente se encuentra dispersa en múltiples instituciones afines al sector.

La población de América Latina y el Caribe ha venido incrementándose en los últimos años totalizando 480 millones de habitantes, de los cuales el 74% son urbanos y el resto habitan en zonas rurales. Este crecimiento de la población y su rápido proceso de urbanización, presenta un panorama de inevitables demandas de servicios, incluyendo la gestión de residuos sólidos urbanos, lo que constituirá un gran reto para los gobiernos nacionales y municipios.

La situación de pobreza es alta en toda la región, lo cual representa un enorme problema en la gestión de residuos domiciliarios. A mayor pobreza mayor despreocupación por los desechos producidos y menor control en la gestión de los mismos. La tendencia presente de muchos de estos países consiste en la privatización de los servicios de aseo público.

Generación de RSU en América Latina y el Caribe. La producción media per capita se puede establecer en 0.92 kg/hab/día. Ello significa unas 330,000 toneladas diarias. La tabla I.8 muestra algunas medias de generación de residuos en ciudades latinoamericanas.

Tabla I.8 Generación de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe

PAIS	(Ciudad)	RSU (kg/hab/día)	RS PELIGROSOS (kg/hab/año)
Argentina	(Buenos Aires)	0,88	260
Bolivia	(La Paz)	0,51	60
Brasil	(Río de Janeiro)	1,00	340
Colombia	(Bogotá)	0,74	60
Cuba	(La Habana)	0,70	100
Chile	(Santiago)	0,87	210
Ecuador	(Guayaquil)	0,70	60
Guatemala	(Guatemala)	0,54	20
México	(Monterrey)	1,07	400
Nicaragua	(Managua)	0,60	60
Paraguay	(Asunción)	0,94	140
Perú	(Lima)	0,56	140
Trinidad y Tobago	(Pto. España)	1,20	230
Uruguay	(Montevideo)	0,90	300
Venezuela	(Caracas)	1,18	260

Fuente: Adaptado de Calvo R. F., Szantó N. M. y Muñoz J. J., 1998

Composición y características de los residuos. Varios países han cuantificado la composición y características de sus residuos sólidos urbanos llegando a valores de materia orgánica entre 40 y 70 %, valores que son superiores a los producidos en los países industrializados, siendo el papel, cartón, vidrio y metal inferiores, aunque el contenido de plásticos se está haciendo similar. Se observa una disminución en el contenido porcentual de vidrio y un aumento en el de plástico. Otra de las características que se hace notar como diferencial respecto a los países desarrollados es el mayor contenido de humedad, variando esta entre 33 y 55 % y su mayor peso específico que alcanza valores de 125 a 250 kg/m³ cuando se mide suelta, valores de 375 a 550 kg/m³ cuando está en camión compactador y de 700 a 1,000 cuando se compacta en rellenos. Los valores caloríficos son inferiores a los producidos en Europa, USA y Canadá. La tabla I.9 resume un estudio realizado por la OPS y refleja la composición de residuos en diferentes países de América Latina y el Caribe.

Tabla I.9 Composición de los RSU en diversos países (% en peso)

PAÍS	PAPEL Y CARTÓN	METAL	VIDRIO	TEXTIL	PLÁSTICOS	ORGÁNICOS	OTROS INERTES
Brasil	25,0	4,0	3,0	-	3,0	-	65,0 (1)
México	20,0	3,2	8,2	4,2	6,1	43,0	15,3
Costa Rica	19,0	-	2,0	-	11,0	58,0	10,0
El Salvador	18,0	0,8	0,8	4,2	6,1	43,0	27,1
Perú	10,0	2,1	1,3	1,4	3,2	50,0	32,0
Chile	18,8	2,3	1,6	4,3	10,3	49,3	13,4
Guatemala	13,9	1,8	3,2	3,6	8,1	63,3	6,1
Colombia	18,3	1,6	4,6	3,8	14,2	52,3	5,2
Uruguay	8,0	7,0	4,0	-	13,0	56,0	12,0
Bolivia	6,2	2,3	3,5	3,4	4,3	59,5	20,8
Ecuador	10,5	1,6	2,2	-	4,5	71,4	9,8
Paraguay	10,2	1,3	3,5	1,2	4,2	56,6	23,0
Argentina	20,3	3,9	8,1	5,5	8,2	53,2	0,8
Trinidad y T.	20,0	10,0	10,0	7,0	20,0	27,0	6,0

(1) Incluye residuos textiles y orgánicos.

Fuente: Adaptado de Calvo R. F., Szantó N. M. y Muñoz J. J., 1998

Cobertura y calidad del servicio en América Latina y el Caribe. El rango de cobertura y calidad del servicio es diferente según en la fase de gestión del residuo en que se encuentre. Así, durante el almacenaje de los residuos son pocas las ciudades con un almacenaje adecuado en los domicilios, siendo también deficiente en comercios y hospitales. Se logra la estandarización de contenedores sólo en ciudades como La Habana, Río de Janeiro y Buenos Aires. En las demás ciudades sólo los estratos de población medio y de mayores ingresos tienen recipientes adecuados, siendo colocada la basura en la vía pública y en lotes baldíos o bolsas para la recolección por los camiones recogedores.

En la mayoría de las ciudades hay deficiencias por falta de equipos adecuados para el transporte oportuno, equipamiento o sencillamente por falta de educación pública y vigilancia.

La cobertura de recolección de residuos sólidos depende en gran medida del lugar donde se realice, así en ciudades grandes de América Latina, como Buenos Aires, Santiago, La Habana, México, Bogotá, Montevideo, Río de Janeiro, Sao Paulo, Brasilia y Caracas, tienen una cobertura de recolección del 90 al 100 %. El promedio de recolección oscila entre el 85

% para las grandes ciudades y el 50 al 70 % para las de menor tamaño. Las zonas de altos y medianos ingresos están bien atendidas, pero en las zonas marginales los servicios son esporádicos.

La falta de recolección da lugar a la aparición habitual de tiraderos clandestinos, causantes de condiciones sanitarias deficientes. En estas zonas marginales e incluso en gran parte de ciudades medianas la frecuencia de recolección puede llegar a ser semanas o cada dos semanas.

Los costos de recolección comparados con los países industrializados son inferiores, debido exclusivamente al bajo costo de la mano de obra latinoamericana variando entre 15 y 40 dólares por tonelada recolectada (en Estados Unidos oscila entre 50 y 125 dólares). En las grandes ciudades y áreas metropolitanas se intenta resolver el problema del servicio de recolección mediante contratos del sector privado.

Las grandes distancias existentes entre los núcleos de producción y los nuevos rellenos sanitarios han obligado al uso creciente de estaciones de transferencia que permiten el acarreo de los residuos en unidades de 40 a 60 m³ con costos unitarios más bajos. Existen estaciones de transferencia en Bolivia, Chile, Ecuador, Perú, Brasil, Venezuela, México, Argentina y Colombia.

Tratamientos, recuperación y reciclaje. Muchos países desarrollados, debido a la falta de terrenos, su alto costo o la cada vez más exigente legislación ambiental, han adoptado la incineración y el compostaje de los residuos. Estas tecnologías han sido adoptadas por varias ciudades de América Latina y el Caribe con resultados casi siempre desalentadores, a excepción de algunos procesos de biogas, debido a la falta de análisis técnicos, institucionales y económicos para establecer la justificación y viabilidad de las inversiones.

Para un gran número de personas de los países de la región la recuperación de materiales secundarios procedentes de los residuos sólidos es una fuente de ingresos. Así existen personas que de puerta en puerta compran o reciben papel y botellas e incluso frecuentan oficinas, restaurantes, industrias, etc., son todos parte del sistema de reciclaje. Es evidente que este tipo de recuperación de materiales es muchas ocasiones es debido al alto índice de pobreza que obliga a muchas a transformarse en segregadores informales para sobrevivir. Esta informalidad conlleva a que en la actualidad no se conozca con exactitud el grado de recuperación en los países pero se estima que no es muy alto.

La recuperación de materiales para el reciclaje se logra de dos maneras:

- ◆ Separación y acopio en las industrias, comercios y grandes generadores y productores de materiales reciclables homogéneos (papel, cartón, vidrio, botellas, plásticos y metales ferrosos y no ferrosos), para venderlos a recogedores privados especializados. Hay programas de este tipo de recuperación, sobre todo para vidrio, en México, Colombia y Venezuela. México cuenta con tres plantas de separación de residuos municipales con capacidad de 1.500 Ton/día cada una, recuperándose del 10 al 15 % del material.
- ◆ El segundo tipo de segregación es practicado en la basura y generalmente consta de tres posibles tipos de intervención: por separadores callejeros en las bolsas o contenedores; por los operarios en el camión recogedor; y en el relleno por los segregadores informales, forma no recomendable debido al riesgo sanitario que lleva consigo. En México se ha comprobado que las cantidades recuperadas conjuntamente por estos tres sistemas de intervención son menores del 2 % de toda la basura.

El método más apropiado de recuperación de materiales es de separación en la fuente domiciliaria, depositando los residuos según sus características en diferentes recipientes. Este tipo de metodología requiere infraestructura y equipamientos que en ocasiones son alto coste. En América Latina se aplica sólo en algunas partes de Argentina, Colombia, Brasil y México.

La cantidad de material recuperado es mayor si se hace participar a la industria y a los grandes generadores de residuos y si la industria recicladora interviene promoviendo el proceso. Los siguientes datos son de algunos países latinoamericanos que muestran resultados apreciables de reciclaje de materiales:

- *VIDRIO*: Las dos principales industrias del vidrio en Colombia reciclaron 142.000 Ton en 1994 y en Venezuela se recicla el 20 % de lo utilizado. En Perú se reciclan 25 Ton/día.
- *METAL*: Las siderurgias integradas de Colombia compran anualmente 220.000 Ton de chatarra recuperada. En Brasil, en 1995 se recuperó el 18 % de los embalajes de metales ferrosos y el 50 % de envases de aluminio.
- *PAPEL Y CARTÓN*: Estos materiales representan los mayores volúmenes de material reciclado en Colombia. 311.200 Ton de papel y cartón producidos provinieron de material reciclado en 1994. En Brasil aproximadamente 1,5 millones de Ton de papel fueron recuperadas para reciclaje en 1993. En Venezuela se recicló el 55 % del total del papel en 1994. En Perú se recuperan 9.500 Ton/año. En Chile se recuperan 200.000 Ton/año, lo que representa el 33 % de lo recuperable.

- **PLÁSTICO:** La recuperación de plástico se efectúa a pesar de las características altamente contaminadoras del proceso, especialmente si se recicla en pequeñas plantas que no cumplen las normas y requisitos de protección ambiental. En Brasil solamente dos industrias recicladoras de plásticos utilizan 1.000 Ton/mes de material recuperado. En Chile se recuperan 23.000 Ton/año, lo que constituye un 10 % de la demanda anual de plásticos. En Uruguay se recuperó plástico sin encontrar un mercado apropiado.

En los países del Caribe no es frecuente la recuperación de residuos sólidos, debido principalmente a que no existen plantas recicladoras, puesto que el mercado es pequeño.

Disposición final. La disposición final de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe se realiza en su mayoría de forma incontrolada o semicontrolada siendo solamente el 30 % de la basura la que se deposita en rellenos sanitarios, aunque algunos en ocasiones no cumplen con las especificaciones técnicas para ser denominados como tales. Una de las tendencias actuales de la región es el intento de tratar los lixiviados que se producen en los rellenos con el fin de evitar su vertido a las corrientes superficiales o la filtración al subsuelo. Actualmente se puede decir que el tratamiento de los lixiviados es prácticamente nulo en América Latina y el Caribe. Un problema palpable en América Latina y el Caribe es la existencia de segregadores (cachucheros, pepenadores, buzos) en los rellenos e incluso la existencia de núcleos marginales que realizan sus actividades en el mismo relleno, lo cual además de riesgos sanitarios dificulta la operación sanitaria y segura del relleno.

Tasas y Tarifas. El estudio e implantación de tarifas de aseo urbano todavía no está extendido en la región, siendo en estos momentos Colombia el país que más experiencia tiene en el régimen tarifario. Éste está regido por criterios de eficiencia económica, neutralidad, solidaridad y retribución, suficiencia financiera y transparencia. Las tasas que se cobran por el aseo urbano oscilan entre 0 y 5 dólares al mes, mientras que Estados Unidos las tarifas oscilan entre 20 y 30 dólares por usuario al mes. Hay excepciones, como el Lima, donde se están cobrando 24 a 16 dólares a los usuarios de clase alta y 3 dólares a los de clase baja. Se hace necesario el establecimiento e implantación de un régimen de regulación de las tarifas para unificar criterios y proporcionar el autofinanciamiento de la gestión de los residuos.

1.6 LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MÉXICO. Castillo B., Hector (1997) presenta un resumen de la situación actual de la basura en las principales ciudades mexicanas, de acuerdo a los actores, instituciones y situaciones específicas que tienen que ver directamente con el tema:

- En el ámbito de la política pública se ha considerado el problema básicamente desde la perspectiva de la “ingeniería ambiental” creando “rellenos”, “control de lixiviados”, plantas recicladoras o de compostaje, etc. con infinidad de proyectos que han fracasado al tratar de incorporar la variable social.
- En el ámbito de la política municipal, se cuenta con legislaciones locales, pero se caracteriza por una gran improvisación. Depende (al nivel de reportes de trabajo) de legislaciones federales que no llegan a cumplir su función. Está inmersa en intereses económicos y sociales de todo tipo y, aunque es independiente, no parece tener un rumbo fijo.
- En el ámbito de la recolección de residuos, es pública en general y privada en algunos casos. Es un proceso privatizado en donde los recogedores (camiones, camionetas, triciclos o carretas de burros) son una especie de “microindustrias” que dan empleo a miles de familias, formalizan la propina, la pre-recuperación y el sistema de “fincas”, por fuera de cualquier tipo de control.
- En el ámbito del reciclaje, la recuperación de materiales la realizan tanto los empleados del servicio de limpia como los traperos de los rellenos y las plantas de selección. Genera empleo para miles de familias que sobreviven con muy bajos salarios, genera cuantiosas ganancias a los intermediarios que controlan la compraventa de materiales y beneficia directamente a la gran industria que compra barato y sin factura esta materia prima para sus procesos de producción.
- En el ámbito de la disposición final, a pesar que se han anunciado cierres de rellenos a cielo abierto, subsisten aún en el Distrito Federal. En el estado de México, la situación es mucho más grave y proliferan en todos los municipios los rellenos sin control, los traperos, la explotación, los intermediarios y la falta de control por parte de las autoridades, incluso en los llamados rellenos sanitarios (tiraderos).
- En el ámbito de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, se formulan leyes, normativas, y se toma como responsabilidad básicamente los desechos peligrosos (que se depositan en gran medida sin control), dejando los residuos municipales a los gobiernos locales, por lo que la eficiencia de la Secretaria en este aspecto es bastante cuestionable.
- En el ámbito de los partidos políticos, continúan con las viejas políticas de los gremios sindicalizados y de traperos.

- En el ámbito de la academia se ha especializado en áreas específicas, como el reciclaje o los programas ecológicos de los “Campus”, con una gran producción de papel impreso, videos, concursos y proyectos que todavía no aterrizan lo suficiente en espacios más amplios de la población.
- En el ámbito de las agencias internacionales, tanto el Banco Mundial como el BID han incorporado ya la variable social en sus proyectos. Sin embargo, las distintas mecánicas de asignación de los mismos y la estructura burocrática federal en donde deben encontrar la contraparte nacional han hecho que el peso de los mismos continúe con la lógica de ingeniería ambiental, los acuerdos “por debajo de la mesa”, y un manejo no siempre claro de los recursos.
- En el ámbito de los consultores privados, proliferan las “empresas ecológicas” en todos sus distintos tipos. Se ha vuelto una prospera industria de venta de proyectos (con acuerdos avalados por las autoridades), de ganancias fáciles y con una enorme plusvalía muchas veces disfrazada como “capacitación”.
- En el ámbito de la industria, es un negocio millonario que compra barato, evade impuestos, vende al precio de mercado, no invierte. Y dado que existe ya la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, su contaminación está legalizada. O sea, si contamina paga, y puede así seguir deteriorando.
- En el ámbito de la sociedad, los esfuerzos de educación ambiental a la población han sido escasos y de poco impacto. La elevada presencia de organizaciones no gubernamentales no parecen tener todavía la fuerza que se necesita para ver un cambio en la acción ciudadana. La población continúa sin sentir una responsabilidad especial sobre el manejo y destino de sus desechos y el problema es entendido como parte de la vida cotidiana.
- En el ámbito de las plantas de selección, al menos las tres que existen en el D.F. reciben mantenimiento con el presupuesto gubernamental, y con un efecto social en beneficio de la ciudad todavía muy debatible.

Y faltan muchas áreas más. Hay problemas de distintos tipos: ambientales, técnicos, metropolitanos, locales, federales, legales, de corrupción, de costumbres y tradiciones, de incompetencia, de falta de planeación urbana, etc. Sin embargo, el problema de fondo que permite unirlos a todos es básicamente de tipo social, ligado a la política y la economía. Por ello las propuestas de solución deben contemplar integralmente estos procesos.

A decir de Castillo B., Hector (1997), respecto a la basura en la ciudad de México, el objetivo central al que debe apuntar cualquier intento viable de modificación y mejoramiento del sistema actual de gestión de basura implica la necesaria formalización sistemática de los aspectos “informales”, “subterráneos”, “alternos”, o simplemente costumbristas que se han generado con el tiempo y son la cara mas deforme del problema.

Esto implica un cuidadoso análisis de las relaciones sociales, económicas y políticas que existen en cada uno de los grupos que participan en el proceso de gestión de basura. Por ejemplo, el medir el peso real (económico, social y político) del sindicato de trabajadores de limpia; el cuantificar los volúmenes de los productos reciclables y su impacto económico en el empleo; exhibir públicamente las prácticas y costumbres nocivas que existen en la gestión actual de los residuos; mostrar a la ciudadanía el nivel de inconsciencia y malos hábitos ciudadanos que existen sobre la basura, etc.

Para lograr esto presenta un esbozo de propuesta dividida en cinco aspectos medulares:

- 1) Los ciudadanos son la principal fuente de generación de residuos y se debe impulsar un cambio de hábitos, costumbres y toma de consciencia a través de campañas educativas que, sin duda, pueden llegar a modificar el estado actual de las cosas en forma radical.
- 2) La industria que produce mercancías, que recicla materiales, que genera residuos peligrosos y que requiere un intenso programa de verificación industrial (pagado por la misma industria) a fin de tener una radiografía normativa clara y permanente de su situación operativa.
- 3) En el ámbito del reciclaje, fortalecer un sistema de centros de acopio que no sólo garanticen el empleo de los trabajadores (recogedores o traperos), sino que mejoren sus condiciones de vida mediante el trabajo colectivo en cooperativas de producción, que modernicen los procesos y eliminen gradualmente la explotación que produce la dominación patrimonial de estos grupos.
- 4) En el ámbito institucional promover un amplio programa de fortalecimiento institucional a escala federal y municipal que perfile las normas, leyes y reglamentos en una perspectiva nacional de largo alcance.
- 5) En el ámbito técnico y de recursos, prever la infraestructura necesaria a largo plazo, con planes intermunicipales e interestatales que racionalicen el uso de los equipos,

las concesiones, la capacitación del personal, la unificación de conceptos y criterios que permitan un verdadero control de los procesos y un uso eficaz de los recursos.

La generación de residuos sólidos. México, al igual que muchos países del mundo enfrenta grandes retos en el manejo de sus desechos municipales. A la fecha, la generación nacional de residuos se estima en 82,600 toneladas diarias.

En cuatro décadas, la generación de residuos se incrementó nueve veces y sus características se transformaron de materiales mayoritariamente orgánicos a elementos cuya descomposición es lenta y para efectuarse requiere de procesos físicos, biológicos o químicos complementarios.

Actualmente se recolecta únicamente el 77 % del total de los residuos generados, mismos que representan 63,600 toneladas, de modo que cada día quedan dispersas 19,000 toneladas.

Del total generado, sólo el 35 % se deposita en sitios controlados, esto es 28,900 toneladas por día, lo que quiere decir que 53,700 toneladas se disponen diariamente a cielo abierto en tiraderos no controlados o clandestinos. De seguir esa tendencia, la situación de por sí grave, puede adquirir un perfil crítico.

Los impactos ambientales y en la salud humana por el inadecuado manejo y disposición de los residuos sólidos han llevado a establecer estrategias nacionales que incluyen: la definición de un marco normativo que permita un control más eficiente de la contaminación ambiental; el desarrollo de políticas para reducir su generación, estimular el reuso y reciclado de materiales; el fortalecimiento a las instituciones involucradas con el manejo y operación de los residuos y la búsqueda de esquemas de financiación adecuados a las capacidades de pago de los municipios (Morales, O. Ma., 1998).

La generación de residuos sólidos varía de 0.68 a 1.33 kg/hab/día. Los valores inferiores corresponden a zonas en su mayoría semirurales o rurales, mientras que los valores superiores representan la generación para zonas metropolitanas como el Distrito Federal.

La tendencia ascendente de la generación de residuos puede variar de 1 a 3 % anual, según la localidad. La zona centro y el Distrito Federal producen el 62 % de los residuos generados en el país.

La composición de los residuos actualmente es, en promedio, 48 % de materia orgánica (cuyo principal componente son residuos de alimentos), 6 % vidrio, 3 % metal, 9 % plásticos, 13 % de papel y cartón y 21 % otros (ITESM, Mayo 1997).

A un año de haber entrado en vigor la Norma Oficial Mexicana sobre Residuos Peligrosos, el 60 % de los desechos hospitalarios infecciosos sigue sin tratarse, depositándose en rellenos. En el ámbito nacional se estima una generación de 800 toneladas al día de residuos peligrosos (Montes, L., 1998).

1.7 LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN VERACRUZ (Capistrán, H. F., y Morosini, C. F., 1997). Uno de los principales problemas que se presenta actualmente en la gran mayoría de los municipios veracruzanos es la recolección y la correcta disposición de sus residuos sólidos.

En Veracruz el problema de la basura se agudiza al ser la tercera entidad federativa más poblada, sólo por abajo del Estado de México y del Distrito Federal. Aunado a lo anterior posee el mayor número de ciudades medias del país (10), las cuales generan los mayores volúmenes de residuos sólidos, en comparación con el resto de los centros de población veracruzana.

Estos volúmenes de basura se incrementan constantemente, lo cual implica que los municipios requieran cada vez más de recursos económicos (actualmente aplican entre un 10 a un 15 % de su presupuesto anual).

La producción real de residuos sólidos municipales no es posible cuantificarla, debido principalmente a:

- a) No todos los municipios del Estado cuentan con un servicio de limpia pública;
- b) De los que prestan este servicio a la ciudadanía, en su inmensa mayoría no llevan un registro de pesada de sus vehículos recogedores que permita, en todo momento, estimar la generación de basura de la localidad;
- c) Los servicios de limpia pública que prestan los ayuntamientos, en raras ocasiones cubren a la mayoría de la población municipal, sino solamente a la cabecera municipal y principales congregaciones o colonias.

Un diagnóstico efectuado en 1990 en el Estado reveló que en 1990 se generaban 3,000 toneladas diarias de residuos sólidos municipales y que el factor de crecimiento anual era entre el 1.5 al 2 %. Por lo tanto, se estima que para el año 2000 se generaran diariamente

casi 3,500 toneladas, considerando que la tasa de crecimiento poblacional se mantenga entre el 2 y el 2.5 % anual.

La generación *per cápita* en el Estado de Veracruz en 1997 se estimó en 0.458 kg/hab/día aunque existen localidades en las cuales se obtienen generaciones diarias de desechos mayores a los 0.700 kg/hab/día (principalmente ciudades medias) y otras en las cuales apenas se alcanzan cifras por el orden de los 0.200 kg/hab/día (Áreas rurales).

En 1990 se estimó que del total de basura generado en el Estado, el 80 % era recolectado por los servicios de limpia pública municipal y dispuestos en rellenos municipales “a cielo abierto”, y el 20 % restante de basura era incinerada o bien enterrada por los mismos habitantes.

Para cambiar la situación se desarrolló el Programa Estatal de Rellenos Sanitarios con el objetivo de disponer adecuadamente del 44.50 % de la basura generada en el Estado diariamente.

Para ello se planeó la construcción de 8 rellenos sanitarios regionales y uno municipal. A la fecha, los rellenos sanitarios de Alvarado y Chicontepec ya se encuentran captando basura (3,6 % de la basura del Estado), los de Jalapa y Coatzacoalcos (16,6 % del total generado) están próximos a operar, los de Poza Rica y Minatitlán ya cuentan con terrenos adquiridos (8,8 % del total) y, por último, los rellenos sanitarios de Córdoba, Pánuco, Orizaba y Veracruz mantienen diferentes etapas de construcción y puesta en marcha (captarán el 15 % de la basura del Estado).

En definitiva, el relleno sanitario no representa la única alternativa de solución a la problemática de la basura en el Estado, sin embargo, tal y como se ha demostrado en otros países que cuentan con incineradores de residuos o extensos programas de reciclaje, el relleno sanitario siempre es un elemento primordial para el depósito de aquellos residuos que ya no puedan ser reducidos o reciclados.

1.8 MARCO NORMATIVO DE LA GESTIÓN DE RSU EN MÉXICO. La gestión integral de los residuos sólidos municipales en México se sustenta en leyes, reglamentos y normas de los tres órdenes de gobierno.

Los instrumentos legales involucran un número considerable de instituciones que buscan el bien común mediante la disminución o eliminación de los efectos nocivos que puede causar el manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales (ver tabla I.10).

Tabla I.10 Marco Legal para el manejo de los residuos sólidos municipales

ORDENAMIENTO	DESCRIPCIÓN
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Indica los servicios públicos municipales que deben prestar los ayuntamientos, entre ellos el de limpia (Artículo 115).
Ley General de Salud	Se identifican las disposiciones relacionadas con el servicio público de limpia en donde se promueve y apoya el saneamiento básico y se establecen normas y medidas tendientes a la protección de la salud humana.
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	Plantea que los sistemas de manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos quedan sujetos a autorización estatal o, en su caso municipal; y la disposición final de los residuos sólidos no peligrosos, mediante rellenos.
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos	Establece cambios en los sistemas de producción y consumo, en actividades industriales, comerciales o de servicios, por medio de mecanismos para prevenir la generación, y que regulen el manejo integral de los residuos, propiciando la ejecución de formas de manejo ambientalmente adecuadas, técnicamente factibles y socialmente aceptables.
Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012	Plantea una política ambiental de residuos basada en la promoción de cambios en los modelos de producción, consumo, y manejo, que fomenten la prevención y gestión integral de los RSU, de manejo especial, peligrosos y minero-metalúrgicos; a través de acciones de prevención y minimización de la generación, separación de residuos en la fuente, reutilización y reciclado, la valorización material y energética, hasta la disposición final restringida y apropiada de los residuos como última opción.
Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas	Establecen las formas y procedimientos aplicables al manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos.
Constitución Política Estatal (Veracruz)	Dentro de los Artículos referentes a los municipios se hace alusión a las facultades que tienen los ayuntamientos para prestar el servicio de limpia pública.
Ley Estatal de Protección al Ambiente	Presenta disposiciones de observancia obligatoria para cada estado, teniendo como objetivo la prevención, preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como las bases para la gestión de los residuos sólidos no peligrosos.
Ley Orgánica del Municipio Libre	Se establecen las atribuciones de los ayuntamientos para nombrar las comisiones que atiendan los servicios públicos.
Bando de Policía y Buen Gobierno	Se tienen el conjunto de normas y disposiciones que regulan el funcionamiento de la administración pública municipal.
Reglamento de Limpia	Regula específicamente los aspectos administrativos, técnicos, jurídicos y ambientales para la prestación del servicio de limpia pública.

II. GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

2.1 EL ENFOQUE DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RSU. La adecuada o inadecuada gestión de los RSU, tanto en grandes como en pequeñas ciudades, ha dado a entender a los responsables de llevar a cabo alguna de sus etapas, que hay que modificar los sistemas de recolección y disposición. Así mismo, incorporar y/o modificar alternativas de reducción de los RSU e incorporar los mejores métodos de valoración recomendados y discutidos en los países avanzados.

La gestión de los residuos agropecuarios se presenta más sofisticada en los países con sistemas tecnificados de producción agrícola y pecuaria. En los países en desarrollo, dados sus sistemas extensivos de producción agrícola y ganadera, la gestión es deficiente y la integración de este tipo de residuos al medio se hace consecuentemente a su generación. Sin embargo, los países tropicales y subtropicales, productores en gran escala de café, caña de azúcar, carnes, lácteos y otros productos cuyo aprovechamiento requiere algún grado de transformación agroindustrial, muestran un grado alto de deterioro ambiental en el entorno de las instalaciones de procesamiento.

La composición de los residuos sólidos municipales está cambiando como resultado de varios factores, incluyendo:

- Segregación en la fuente.
- Metas e iniciativas gubernamentales de reciclaje.
- El reciclaje está afectando el poder calorífico de los residuos.
- Los materiales segregados que no hayan mercado para reutilización o reciclaje requieren tratamiento térmico.
- Las corrientes de residuos diferentes vienen juntos para el tratamiento térmico integrado, por ejemplo, RSU y lodos de depuradoras.
- El principio de proximidad que conlleva a las plantas pequeñas de tratamiento térmico de residuos provee una solución para las necesidades locales.
- Las cenizas tienen cada vez mayores problemas para su disposición final.
- Los operadores de rellenos sanitarios se vuelven más selectivos.

La gestión integral de los residuos sólidos busca ser compatible con las preocupaciones ambientales y la salud pública, y con la conciencia pública respecto a la reutilización y el reciclaje de materiales residuales.

Hasta hoy, las alternativas que han sido aplicadas dentro de un concepto de gestión integral de los residuos sólidos tienden a enmarcarse en la filosofía del desarrollo sostenible. En Europa, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y Japón, entre otros, la jerarquización de tales alternativas es similar y se agrupa de la siguiente manera:

- ◆ Prevención (Minimización y reducción en la fuente)
- ◆ Valorización
 - *Reutilización*
 - *Reciclaje y compostaje*
 - *Recuperación de energía (Digestión anaerobia, incineración, etc.)*
- ◆ Disposición final de rechazos en rellenos sanitarios

Para acercarse más al desarrollo sostenible, las tecnologías implicadas en la gestión integral de residuos sólidos inciden en los sistemas productivos, ya que ello hace necesario producir más con menos recursos y minimizar el impacto sobre el medio ambiente.

Considerando lo anterior, la jerarquía de gestión actual de residuos, puede verse como un menú de opciones de recuperación, entre la prevención y la disposición final, más que un medio para reducir la generación de residuos. La prevención, la recuperación (incluyendo reciclaje) y la disposición final no son soluciones ecológicas por si mismas, sino diferentes opciones de gestión para minimizar el impacto global de los residuos.

La mayoría de los grupos (asociaciones, fundaciones, ONGs y clubes) relacionados con la gestión de residuos sólidos concuerdan en promover el análisis racional en el uso de los recursos y en todos los campos de la gestión de los residuos, basados en argumentos científicos y técnicos.

Otras actividades que juegan un papel importante en los modernos sistemas de gestión integrada de residuos sólidos urbanos son:

- ◆ Educación y concientización pública
- ◆ Separación y contenerización de materiales
- ◆ Sistemas de recolección
- ◆ Transporte
- ◆ Estaciones de transferencia
- ◆ Evaluación y retroalimentación de los procesos

La filosofía de la “Jerarquía de gestión de residuos” (prevención/minimización, recuperación de materiales, incineración y relleno sanitario) ha sido adoptada por la mayoría de las naciones industrializadas como el menú para desarrollar las estrategias de gestión de residuos sólidos municipales. La extensión de cualquier opción en un país dado (o región) varía en función de un gran número de factores, incluyendo topografía, densidad de la población, infraestructuras de transporte, regulaciones socioeconómicas y ambientales. Además, la comparación de los datos estadísticos de una y otra nación no es un trabajo sencillo. En principio hay diferencias entre las definiciones aplicadas a los RSU, la clasificación de la composición y la forma en que son colectados los datos (Sakai, S.; Sawell, S.E.; Chandler, A.J.; *et al.*, 1996).

Muchos modelos han sido creados en las últimas décadas para asistir el desarrollo de programas más eficientes de gestión de residuos sólidos. Estos modelos varían en sus intenciones, suposiciones y procedimientos de solución. Sin embargo, todos ellos tienen la habilidad de proporcionar apreciaciones significativas para el diseño de las actividades de residuos sólidos (MacDonald, M. L., 1996).

El análisis de sistemas para gestión de residuos sólidos ha recibido amplia atención por parte de los planeadores económicos y ambientales debido a la naturaleza compleja de estos servicios. Chang, N.; Chang, Y.; y Chen, Y.L. (1997) describen importantes aspectos de costo-efectividad y carga de trabajo en la optimización de los sistemas de recolección, reciclaje, tratamiento y disposición de residuos sólidos. La aplicación secuencial de la programación no lineal y la programación integral es utilizada para dirigir los residuos generados a las instalaciones de reciclaje, tratamiento y disposición a un costo mínimo y para ubicar los deberes de recolección de residuos entre los vehículos existentes y la labor uniformemente entre las áreas de servicio.

2.2 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. En las regiones industriales occidentales hay una correlación entre crecimiento económico, ingreso económico de la población en términos reales y el incremento de la cantidad de residuos. Es comprensible que ese crecimiento no puede continuar eternamente, ya que la disponibilidad de recursos es limitada.

La estructuración de la economía hacia el desarrollo sostenible debe dirigirse a:

- ♦ La minimización de las entradas. Esta acción estabilizaría e incluso reduciría el consumo de recursos y el impacto ambiental negativo.

- ♦ Como el punto anterior no se alcanzará inmediatamente o en el futuro cercano, la dirección lleva a minimizar las salidas, utilizando los recursos tan económicamente y tantas veces como sea posible, de tal manera que finalmente solo los residuos que no puedan ser reciclados sean depositados en los rellenos sanitarios (si es posible en forma de materiales inertes).

En los sistemas integrados de gestión de residuos se pueden distinguir tres etapas cronológicas de minimización de residuos:

- ♦ Medidas primarias
- ♦ Medidas secundarias
- ♦ Medidas terciarias

La figura 2.1 muestra la jerarquía de los posibles tratamientos de minimización de residuos dentro de una gestión integral de los mismos, ordenados de mayor a menor prioridad (hacia abajo) y de acuerdo a la orientación cronológica (medidas).

Las siguientes definiciones son útiles para evaluar las medidas aplicadas en la minimización de residuos:

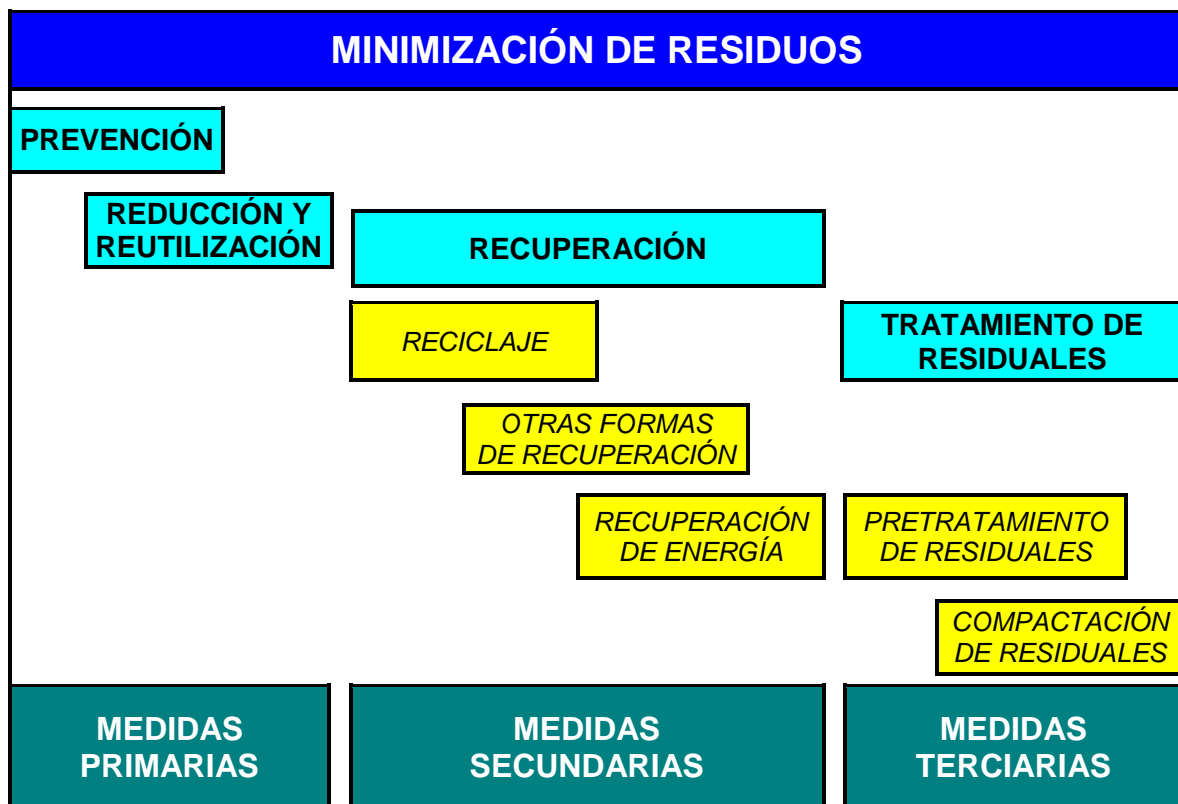
MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS. De acuerdo a las definiciones aceptadas en la OCDE este término se refiere a:

- ♦ Prevenir y/o reducir la generación de residuos en la fuente;
- ♦ Mejoramiento de la calidad de los residuos generados, tal como reducción de la peligrosidad; y
- ♦ Estimular y/o propiciar la reutilización, el reciclaje y la recuperación.
- ♦ Tratamiento de los residuos remanentes desde las otras etapas de la minimización de residuos con la finalidad de asegurar el espacio vital de las futuras generaciones.

PREVENCIÓN DE RESIDUOS. Es evitar estrictamente la generación de residuos tanto cualitativamente, a través de la eliminación virtual de las sustancias peligrosas, y cuantitativamente, a través de la reducción de los materiales o la energía en la producción, consumo y distribución de los artículos.

REDUCCIÓN EN LA FUENTE. Reducción del uso de sustancias peligrosas y el consumo de materiales y energía.

REUTILIZACIÓN DE PRODUCTOS. Uso múltiple de productos en su forma original, con o sin reacondicionamiento. La reutilización es una medida de reducción de residuos.



Adaptado de: Vögel, Gerhard. CER, Valencia 1998.

Fig. 2.1. Jerarquización de medidas dentro del concepto de Minimización de Residuos

RECICLAJE. Empleo de los materiales en forma tal que los productos originales, no los materiales, pierdan su identidad.

OTRAS FORMAS DE RECUPERACIÓN DE LOS MATERIALES. Uso de materiales residuales, de tal forma que se pierde tanto la forma original del producto, como la estructura original del material, pero permanece un material que puede ser empleado de alguna otra manera (Compostaje, digestión anaerobia, etc.).

RECUPERACIÓN DE ENERGÍA. Utilización del contenido energético de los residuos con o sin pre-procesamiento (Combustible derivado de residuos CDR, incineración de residuos peligrosos, aprovechamiento del biogas para producir electricidad, etc.).

PRETRATAMIENTO DE RESIDUALES O RECHAZOS. Reducción del volumen, masa o peligrosidad por procesos mecánicos, físicos, químicos o bioquímicos antes del depósito en rellenos sanitarios o almacenamiento final.

COMPACTACIÓN DE RESIDUALES O RECHAZOS. Reducción del volumen y masa de los materiales en los sitios de disposición final por procesos mecánicos, físicos, químicos o bioquímicos.

2.3 REDUCCIÓN EN EL ORIGEN EN TÉRMINOS DE RECICLAJE. El reciclaje de los materiales comunes de envasado está bien aceptado alrededor del mundo. Es más, mucha gente acepta que se debería intentar no solamente reciclar y reutilizar, sino también reducir la cantidad de envases y recursos empleados. Desde un enfoque político y práctico Kingsbury, T. (1999), se enfrenta con el cómo dar crédito a la reducción en el origen. Usando los datos de los inventarios de ciclo de vida de Europa y de EUA, hace una comparación entre la cantidad de energía ahorrada al reciclar varios materiales de envasado y la cantidad de energía ahorrada mediante reducción en la fuente de materiales vírgenes. Fueron examinados seis materiales: botes de aluminio, cartón, botellas de PET, botellas de HDPE, botes de acero y botellas de vidrio. Utiliza la energía como un común denominador para permitir que la reducción en el origen sea expresada en términos de reciclaje.

La estrategia europea. La estrategia europea propone como primera prioridad que “la CE debe primero dirigirse a sí misma para prevenir los desechos antes de considerar su reutilización y como serán dispuestos. En cualquier caso, el principio básico de acción de la Comunidad debe ser evitar los residuos y reducir su cantidad y peligrosidad”. La prevención de residuos se vuelve la primera guía de la estrategia europea de gestión. Los resultados recientes demuestran que los cambios tecnológicos pueden tener un impacto positivo en la generación de residuos, ya que se desarrollan tecnologías limpias más que tecnologías de purificación, las que solo transfieren la contaminación. Para completar este enfoque de reducción, teniendo en mente que los residuos se producen principalmente en dos etapas – primero cuando los productos son manufacturados y segundo después de que son usados –, la Comisión propone una segunda estrategia preventiva tal que pudiera ser alcanzada la minimización de residuos al desarrollar tecnologías limpias y al minimizar el nivel de productos de desecho (Salter, J., 1996).

La Unión Europea reconocía recientemente que su objetivo de minimización en la generación de residuos sólidos urbanos estaba fracasando. La generación de RSU en la Europa Comunitaria sigue creciendo en cantidades absolutas y en generación de residuos *per capita*. Situar a la minimización en el primer puesto de la jerarquía sobre gestión de RSU no ha sido suficiente para cambiar el sentido ascendente de la curva de generación de residuos sólidos urbanos en los países europeos. Es de sobra conocido que a mayores cotas

de bienestar económico corresponden, en general, mayores tasas de generación de residuos. Por eso se imponen políticas de gestión que quiebren esa correlación, de manera que sean precisamente las sociedades económicamente más avanzadas las que marquen la pauta hacia una menor y mejor generación de RSU (Olabe, Antxon, 1998).

Un estímulo para minimización la generación de residuos sólidos urbanos podría ser el relacionar directamente las tasas de recolección y eliminación con la cantidad concreta de residuos generada. De igual manera sucede con los programas de recolección selectiva y reciclaje si la tarifa de eliminación final –basureros e incineradoras– es disuasoria.

2.4 REQUERIMIENTOS PARA UNA POLÍTICA INTEGRAL (Durán de la Fuente, Hernán, 1998). Hasta 1991 el problema de los residuos urbanos e industriales era un tema no resuelto en la región de América Latina y el Caribe y, en general, mal abordado. Existían múltiples enfoques en torno a los impactos en la salud y en el medio ambiente generados por los residuos domésticos e industriales.

La CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) ha desarrollado un proyecto para la gestión ambientalmente adecuada de los residuos urbanos e industriales con el apoyo financiero del gobierno de Alemania (GTZ). Durante los últimos cinco años se ha trabajado en 6 países: Argentina (Municipio de Córdoba); Brasil (Municipalidad de Campinas, Sao Paulo); Colombia (Municipalidad de Cartagena de Indias); Costa Rica y Chile (alcance nacional); y finalmente, en Ecuador (Municipalidad de Quito).

Una particularidad del proyecto es haber formulado un marco conceptual integral de política, más complejo y comprensivo, que aborda la problemática multilateral de la gestión de residuos, con un enfoque más sistémico. Se recogió para ello la experiencia local de los países latinoamericanos, pero también la experiencia internacional, en especial la de Alemania, con cuyos aportes se financia el proyecto.

Este enfoque debe cumplir con una serie de requerimientos, que surgen del conocimiento empírico de los casos donde se ha trabajado, y de los estudios teóricos sobre la gestión de residuos donde se abordan estas materias. Los más importantes son los que se puntualizan a continuación:

- Permitir que se asuma el tema de la prioridad política y el lugar que el tema de los residuos tiene, o debe tener, en la agenda política de los gobiernos nacionales y locales.
- Permitir a los gobiernos explicitar y articular los intereses de los diversos actores en juego: además de los gobiernos, las asociaciones de empresarios, las universidades y

ONGs, los sindicatos de trabajadores, juntas de vecinos, la población y otros organismos de la sociedad civil, los medios de comunicación, etc.

- Explicitar y articular las relaciones y las diversas funciones al interior del aparato de gobierno, y con ello permitir un diseño institucional de gestión más eficiente.
- Ayudar a detectar la necesidad del fortalecimiento institucional y de capacitación de funcionarios del aparato público y del sector privado.
- Permitir abordar y resolver los problemas de dispersión legal y de las lagunas legislativas, normativas y reglamentarias.
- Explicitar la necesidad de abordar los problemas de la débil o insuficiente fiscalización y control público de normativas muchas veces existentes.
- Conducir a un análisis que incluya los componentes, causas, efectos y relaciones económicas propias de la problemática de los residuos en el diseño de políticas y en la toma de decisiones.
- Comprender y estimular la participación de la comunidad, de la población afectada, de las ONGs y de los organismos comunales y vecinales en los diversos momentos o instancias de la política de residuos.
- Promover un análisis que detecte las necesidades de levantar información de base para una correcta toma de decisiones.
- Vincular la gestión de los residuos a su proceso de generación, esto es, una política que tenga un carácter preventivo más que curativo.
- Analizar el tema de las posibilidades de selección en el origen, de minimización, de tratamiento, y de reciclaje, etc.
- Asumir la necesidad de desarrollar instrumentos nuevos de política, más eficientes y eficaces, para conseguir sus objetivos.
- Vincular el tema de los residuos a los estilos de vida y a los patrones de consumo, esto es, asumir los alcances de más largo plazo de la política.
- Incorporación de las necesidades de sensibilización, información y educación de la comunidad y de algunos actores específicos con responsabilidades en la generación de otras fases del ciclo de vida de los residuos.

La tarea era formular un marco conceptual que abarcara estas diversas materias, sus actores y relaciones, uniéndolos en una propuesta sistemática que apuntara a resolver los problemas ocasionados por una inadecuada política de residuos o por falta de ella.

2.5 LA PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL (SWANA & NADO, 1995). La planificación es una parte esencial para asegurar que cualquier proceso complejo trabaje adecuadamente. Las siguientes consideraciones son fundamentales para la planificación de la gestión de residuos sólidos municipales.

- ◆ El desarrollo de un plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales (GIRSM) debe iniciar con un propósito.
- ◆ Deben establecerse el propósito del proceso de planificación, las metas del proceso de planificación y el área de servicio que el plan servirá.
- ◆ Deben establecerse los conceptos básicos, definiéndoles de una misma manera entre las partes, estado, municipios y ciudadanos.
- ◆ Examen y evaluación de las prácticas actuales de GIRSM:
 - Identificación de todos los participantes en la GRSM en el área de estudio.
 - Evaluación de las corrientes de residuos sólidos
 - Caracterización de residuos
 - Generación de residuos
 - Prácticas actuales de gestión.

- Proveedores de servicios	- Reciclaje
- Reducción en la fuente	- Combustión
- Recolección	- Basurero
- Procesamiento	- Costos de la GRSM
- ◆ Desarrollo del plan.
 - Todos los métodos disponibles deben direccionarse y deben establecerse cada uno de los métodos.
 - Deben determinarse las habilidades para llevar a cabo los métodos, los fondos y una calendarización de implantación.
- ◆ Escenario político del plan de GRSM.
 - Las bases para escribir el plan de GIRSM están dadas por:
 - Estudios del área
 - Evaluación de las prácticas actuales
 - Proyecciones para el futuro

- Evaluaciones de los mercados de energía y de los materiales
- Capacidad actual de cada uno de los métodos de GIRSM
- Estudios de las características de los residuos sólidos.
- Lo más difícil del proceso de planificación es la implantación real y las políticas necesarias para permitir la implantación.
- Los tomadores de decisiones políticas deben decidir como desean ver ahora y en el futuro el programa de GIRSM.
- Lo que debe hacerse para implantar el plan es tomar toda la información desarrollada, establecer metas a corto y a largo plazo y desarrollar el plan de GIRSM para lograr las metas.

El papel del planificador es hacer ver a las autoridades del ramo el significado de cada uno de los métodos de la gestión integral de residuos sólidos y las interrelaciones entre ellos. Debe mantener en mente las metas del plan de gestión, la capacidad actual de los métodos, la calendarización para la implantación del escenario, el escenario de implantación para cada método, la educación pública y la financiamiento inicial.

Pasos para iniciar el sistema regional de gestión de residuos sólidos municipales:

- Formación de un cuerpo político que dirija la regionalización.
- Formación de un grupo técnico que dirija el proceso de planeación y los pasos técnicos para la regionalización.
- Definición del área de servicio.
- Creación de una institución regional.
- Establecimiento legal de la institución regional.
- Planificación de la estructura política regional.
- Definición de los papeles y responsabilidades de los cuerpos de gobierno y de apoyo.
- Establecimiento de la financiamiento y los procedimientos para definir las tasas.
- Educación pública.

2.6 LOS INSTRUMENTOS ECONÓMICOS (Olabe, Antxon, 1998). Una de las evoluciones más significativas en la política ambiental de la Unión Europea de los últimos años ha sido el reconocimiento de la importancia de los instrumentos económicos a la hora de aplicar dicha política. Tras acumular 25 años de experiencia, la UE ha reconocido que las políticas tradicionales basadas en la emisión de normativas y su control no son suficientes.

Nadie discute que las normativas sean necesarias, pero hoy es ya un lugar común reconocer que una gran parte de la normativa legal vigente sobre medio ambiente simplemente no se cumple.

Es impensable una adecuada gestión integral de residuos sólidos urbanos en las sociedades modernas sin incorporar una eficiente e inteligente red de incentivos y desincentivos que trabajen en la dirección adecuada. Disponer de la normativa apropiada y de la infraestructura idónea –contenedores, medios de transporte, plantas de separación, rellenos sanitarios, etc.– son precondiciones esenciales para promover una buena política de residuos urbanos. Son condiciones necesarias, pero no suficientes. Su complemento imprescindible son los mecanismos económicos que animen a los actores sociales a actuar en la dirección adecuada. No se trata tampoco de crear falsos dilemas como contraponer educación ambiental de los ciudadanos a aplicación de instrumentos económicos, ya que ambas herramientas son complementarias. Son fundamentales las campañas de sensibilización ciudadana a favor de la separación en origen y de la recolección selectiva, a favor del consumo de productos reciclados y de la modificación de hábitos de consumo. Es necesario complementar esa educación con la política de incentivos y desincentivos económicos.

Los instrumentos económicos que propone Olabe, Antxon (1998) en síntesis son:

- ❶ Las administraciones locales con contratos de recolección, transporte y eliminación de residuos deben pagar por tonelada recolectadas y/o por tonelada enviada al basurero o a la incineración.
- ❷ Las administraciones locales que ya tienen en marcha programas de recolección selectiva mínimamente consolidados deberían instaurar descuentos en sus tasas de recolección de residuos a aquellas empresas, comercios, bares, restaurantes, hoteles, etc. que participen y colaboren en sus programas de recolección selectiva.
- ❸ Aplicación de la tasa finalista que grava a determinados productos. Esta tasa sirve para financiar su gestión una vez que, al final de su vida útil, se convierten en residuos. Este tipo de tasas debería aplicarse principalmente a objetos voluminosos y electrodomésticos, tanto de línea blanca como marrón, ya que su adecuada gestión como residuos resulta cada vez más cara y compleja. Serviría también para que el ciudadano/consumidor tome consciencia, en el momento de adquirir el artículo, de que cuando éste se convierte en residuo surge un problema de eliminación que la sociedad debe gestionar y costear.

La mayor preocupación de la mayoría de las comunidades al iniciar o expandir un sistema de gestión de residuos sólidos es el costo que ello representa. Hauser, R., Jr., (1993) presenta y discute los mecanismos alternativos de financiamiento disponibles. El paso inicial debe ser identificar todos los costos involucrados, lo cual incluye: costos de recolección, costos de recolección de reciclables, contenedores, costos de operación y financiamiento de las instalaciones, costos del cuidado y monitoreo del basurero, costos de administración y programas de información ciudadana. Entonces, deben proyectarse los ingresos y deben considerarse todas las mezclas posibles de actividades públicas y privadas. Asimismo, deben ser evaluados en términos de efectividad, adecuación, equidad, requerimientos administrativos y legalidad, los mecanismos disponibles de financiamiento, tales como cuotas de disposición final, cargos al usuario, impuestos añadidos, cargos y cuotas especiales, impuestos y tarifas sobre productos, apoyos estatales y financieros, y aportaciones privadas.

La Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación (1993) llevó a cabo una investigación sobre la relación entre consumo eléctrico y generación de residuos según el tipo de usuario eléctrico. Los resultados muestran una correlación significativa entre el consumo de energía eléctrica y la generación de residuos para los usuarios residenciales, comerciales e industriales menores, hasta un consumo de energía menor a 3,000 Kw/mes. Estos resultados permiten determinar las tarifas para la gestión de residuos derivados del consumo eléctrico, entre otros, con el fin de influenciar a través de la tarifa la reducción de la generación de residuos y fijar la misma para su gestión sostenible.

III. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

La recolección de RSU Incluye la toma de los residuos sólidos así como su transporte hasta el lugar de disposición final. La descarga del vehículo de recolección es considerada como parte de la operación. La recolección variará según las características de las instalaciones, actividades o localizaciones donde se generan los residuos y los métodos utilizados para el almacenamiento *in situ* de los residuos acumulados entre recolecciones.

Usualmente los métodos de recolección varían en función de si hay o no hay separación de residuos en el origen. Siendo más práctica para el generador no seleccionar los materiales, pero presenta muchos inconvenientes para una buena gestión de residuos sólidos. Así, la recolección de residuos separados en origen tiende a ser cada vez mejor aceptada, llevándose a cabo con el apoyo de programas de concientización ciudadana, programación de las rutas de recolección, instalación de centros de acopio y sistemas de comercialización de materiales recuperables, tanto para reutilización como para reciclaje.

Dentro de las primeras etapas de la gestión, la recolección ha sido ponderada comercialmente y tal parece que no se agotan las posibilidades.

Día a día los países avanzados implementan nuevos programas de recolección con el objetivo de lograr mayor selectividad de los materiales así como mayor participación de la comunidad generadora de residuos. La recolección selectiva que alcanza mayores niveles de separación y reutilización conlleva a mayores niveles de recuperación y por ende de reciclado de materiales, incluyendo el compostaje.

3.1 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN SELECTIVA. Los sistemas de recolección selectiva que actualmente se aplican, a escala real o experimental, son principalmente los siguientes:

- ✧ *Recolección en masa más separación en área de aportación (AA).* En este sistema el ciudadano almacena la basura en una bolsa, excepto aquellos materiales específicos que se recogen por separado. Los residuos en masa se depositan al nivel de acera y los materiales seleccionados (papel-cartón, vidrio, etc.) se recogen en contenedores específicos situados en las áreas de aportación.
- ✧ *Recolección en acera con separación en dos fracciones y sin áreas de aportación.* El ciudadano separa los residuos en dos fracciones, una denominada **materia orgánica**, que incluye los materiales fermentables, y otra denominada **restos o fracción de**

material ligero, que incluye todo lo demás. Estas dos fracciones se depositan en contenedores separados al nivel de acera.

- ✧ *Recolección en acera con separación en dos fracciones con AA.* Similar a la anterior, pero en este caso se recuperan en AA aquellos materiales con mayor valor económico, como son el papel y el vidrio.
- ✧ *Recolección selectiva de envases en AA.* La finalidad de esta modalidad es recuperar los envases reciclables de la basura doméstica que más interesan. Dependiendo de los casos se recogen papel, vidrio, plásticos y fracción ligera (plástico, metal y tetrapack).
- ✧ *Recolección al nivel de establecimiento.* Consiste en la recolección puerta a puerta en locales y establecimientos públicos o privados, de aquellos residuos peligrosos por su poder contaminante, tales como medicamentos, pilas, tubos fluorescentes, etc. También se recogen aquellos que se generan en grandes cantidades, como son el vidrio en bares, cartón en comercios, papel en colegios, etc.
- ✧ *Recolección al nivel de instalación.* Son instalaciones situadas a 3 ó 4 Km de la población donde se deposita cualquier tipo de residuos urbano. El ciudadano lleva allí aquellos residuos que no son recogidos a otros niveles, como objetos voluminosos, aparatos eléctricos, escombros, aceite usado, neumáticos, productos peligrosos, etc.
- ✧ *Recolección de especiales.* Se utiliza para recoger materiales que se generan con mucha menos frecuencia, como los voluminosos, textil, podas de jardín, etc.

Algunas experiencias de recolección selectiva. La Mancomunidad de Montejurra (Navarra) recibió en 1994 el Premio Nacional de Medio Ambiente por recuperar el 65 % de la basura separando, por un lado, vidrio, papel y cartón, metales, plásticos, y por otro, la restante fracción de materia orgánica.

Proyectos similares se han realizado en diversos municipios españoles con resultados en su mayor parte satisfactorios. Y es que cuando se le ofrecen al ciudadano las infraestructuras adecuadas, se potencia su concientización, y se le informa de cómo debe separar y depositar los materiales en los diferentes contenedores, suele mostrar una actitud participativa.

Barcelona implantó los primeros contenedores de vidrio en 1981. Hoy cuenta con 1,150 unidades repartidas por toda la ciudad (lo que equivale a un contenedor cada 1,400 habitantes), que han permitido recoger en 1995 más de 10,000 toneladas (6.3 kilogramos por

habitante) destinadas al reciclaje. El rendimiento óptimo es 1,000 kilogramos mensuales de vidrio por contenedor.

La recolección de papel y cartón comienza en 1986 y se generaliza en 1994. Actualmente hay 800 contenedores de papel tipo iglú (poco más de uno por cada 2,000 habitantes) Además hay sistemas de recolección “puerta a puerta” en centros oficiales y oficinas, y recolección en zonas comerciales.

En Madrid, la producción de basura se sitúa en la media de producción de otras grandes ciudades de Europa. Pero en cuestiones de reciclaje, la capital española está bastante lejos de alcanzar las cifras de otras ciudades de la Unión Europea.

En 1983 se colocaron en la vía pública los primeros contenedores tipo iglú para la recolección de vidrio. Madrid cuenta en 1997 con unos 2,500, a los que hay que sumar 186 contenedores colocados por la empresa Cemusa, que forman parte del polémico mobiliario urbano de la ciudad. Esto supone una razón aproximada de un contenedor cada 1,100 habitantes, mientras que “en Europa se habla de uno cada 600 habitantes”.

La recolección selectiva de papel y cartón comenzó en 1992. Hoy existen unos 457 contenedores en las calles de Madrid y 643 contenedores de apoyo en dependencias municipales. En suma, un contenedor cada 2,700 habitantes, lo que permitió una escasa recolección en 1995.

Al margen de la recolección selectiva, es posible la separación y aprovechamiento de algunas fracciones de la basura. La planta de tratamiento de RSU de Valdemingómez puede tratar 1,200 toneladas de basura al día, aunque no funciona al 100% de su capacidad. Permite la elaboración de compost a partir de la materia orgánica; la separación y el reciclaje de algunos plásticos, papel y cartón, vidrio y metales; y la incineración con recuperación energética. Del total de la producción de RSU en Madrid, un 4 % se destina al compostaje y menos de un 2 % se recicla en esa planta. En 1995, de toda la basura retirada en Madrid, un 80% acabó en el basurero.

No hay gestión posible, ni rentable, si no se empieza por su tratamiento desde origen, donde deben clasificarse y depositarse de forma seleccionada, en tres o cuatro bolsas diferentes, los productos que son distintos. Después habría que clasificar en la calle con contenedores que sean racionales. Los que hay no lo son, ocupan demasiado espacio y su manipulación es pesada y costosa. Por tanto, este camino no es el correcto, el contenedor debe ser capaz de aprovechar óptimamente el espacio cúbico en la calle.

A estos aspectos relativos a la recolección selectiva, hay que añadir que se deben cumplir unos objetivos de reciclaje y valorización antes del año 2001, y que contempla el proyecto de Ley de Envases y Residuos de Envases.

Contala N., H.; y Byer, P. H. (1997), examinaron como afectan al nivel de participación ciudadana cada una de las variables asociadas con el diseño de programas de recolección de residuos en acera con fines de reciclaje, así como el efecto de las interacciones entre las variables. La evaluación de las variables de diseño incluye revisión bibliográfica y el análisis de los resultados de seis muestreos de programas de reciclaje con recolección en acera. Los resultados de la investigación muestran que no hay un diseño ideal simple para los programas de reciclaje con recolección selectiva en acera, sino que han probado ser exitosas diversas combinaciones de las variables. Esto sugiere que los costos, las necesidades y las metas de la comunidad deben ser factores significativos cuando se diseña un programa de reciclaje, mientras se tome en cuenta el efecto de algunas variables sobre la participación ciudadana. Basados en esos resultados, se diseñaron cuatro programas de recolección en acera: dos para maximizar las tasas de participación sin agravio del costo; y los otros dos con la meta de alcanzar un balance entre la tasa de participación y el costo del programa.

La recolección selectiva en la Comunidad de Madrid (GEDESMA, 1998). El Consejo de Gobierno de la Comunidad de Madrid (CM) aprobó por decreto el 12 de Junio de 1997 un ambicioso proyecto común que se denominó Plan Autonómico de Gestión de residuos sólidos urbanos de la Comunidad de Madrid, 1997-2005 que, en concordancia con el Quinto Programa de Acción Medioambiental de la Unión Europea y enmarcado legislativamente en la Ley 11/1997, de 24 de abril, de envases y residuos de envases, establecía los principios generales a seguir en la futura política de gestión de RSU. Dichos principios se pueden resumir en lo siguiente:

- fomento de la prevención en origen y de la reducción
- fomento de la reutilización y el reciclado
- corresponsabilidad y coordinación de las actuaciones en la gestión de RSU
- información y mentalización intensa y continuada a lo largo de vigencia del plan

Por primera vez los conceptos de reducción, recuperación y reciclaje se sitúan a la cabeza de las prioridades en la estrategia a seguir en la gestión de los residuos generados por los 5,013,930 habitantes en la CM (aunque Madrid capital, al contar con infraestructuras propias de tratamiento de RSU, realiza la gestión de los residuos de sus 2,847,840 hab.). De entre

estos principios, los dos últimos, la recuperación y el reciclaje de los materiales contenidos en los RSU conducen directamente a la implantación de la recolección selectiva en la CM.

El Plan de Gestión ha optado por la implantación de un modelo único para la totalidad de la CM en una única fase, de modo que el conjunto de la comunidad tuviera la posibilidad de iniciar la recolección de residuos de envases desde el día 1 de enero de 1998.

El modelo seleccionado ha sido el denominado de segunda bolsa mediante el cual se pretende introducir en los hogares de la CM la separación en origen de los residuos de envases. El ciudadano, consecuentemente con la cada vez mayor concientización medioambiental, debe separar los residuos que genera en dos fracciones: una conteniendo los restos orgánicos y fracciones no recuperables, y otra en la cual se depositan los residuos de los envases compuestos por materiales plásticos, metálicos y envases multimaterial tipo Tetra Brik.

Para otros residuos recuperables generados en el hogar como son el papel-cartón y el vidrio se ha optado por continuar con el actual sistema de contenedores en la calle, que además de ser un sistema ya implantado y con aceptación entre la población, presenta ventajas en cuanto a la mayor calidad de los materiales recuperados.

El modelo de segunda bolsa supone un esfuerzo posterior para clasificar los residuos separados en masa por el ciudadano, pero se considera, y el estudio de otras experiencias así lo corroboran, que obtiene un mayor índice de participación de la población que los tradicionales sistemas de isla ecológica o contenedores monoproducto en acera. Solamente requiere por parte del ciudadano la dedicación de un espacio mínimo en su vivienda, requisito indispensable dado que un elevado número de personas habitan en viviendas verticales.

La recolección de los residuos contenidos en la segunda bolsa se adapta a la habitual de los RSU de camión recogedor de contenedores, estableciendo cada ayuntamiento la frecuencia y días de recolección que considere oportunos. Las necesidades en cuanto al número y capacidad de los contenedores fueron determinadas por los entes municipales como mejores conocedores de la realidad de cada localidad. Hasta julio de 1998 se han distribuido entre los ayuntamientos 52,154 contenedores de capacidades comprendidas entre los 120 y los 1,000 litros.

Con el fin de facilitar al máximo la colaboración municipal con la recolección selectiva se ha buscado que las corporaciones no tuvieran que llevar sus residuos de envases a los distintos

lugares designados para su procesado, interfiriendo así lo mínimo con la dinámica ya establecida en el flujo de RSU. Se han adaptado para ello las estaciones de transferencia y los rellenos sanitarios con sitios específicos de recepción de materiales, así como nuevos módulos de compactación asignados exclusivamente a la segunda bolsa.

Las actuaciones realizadas en los distintos rellenos sanitarios de la CM para la recepción de los residuos de envases suponen la construcción de playas de descarga. Las áreas de descarga tienen distintos grados de complejidad según las previsiones de capacidad y van desde simples soleras de hormigón en las que se cargan los contenedores con carretilla a superficies a dos alturas con un pequeño módulo de compactación en contenedores cerrados.

Dentro de la campaña de concientización y sensibilización que se lleva a cabo por todos los medios de comunicación desde principios de 1998, se han distribuido cubos domésticos y bolsas amarillas para residuos de envases como medida de promoción del plan, incentivando la separación domiciliaria de los residuos en dos fracciones.

Las infraestructuras e inversiones más importantes dentro del modelo establecido de separación en origen de residuos de envases son las plantas de clasificación, cuya misión es recibir los residuos de envases para proceder a su separación por materiales. El Plan de Gestión ha previsto en este sentido la construcción de tres plantas distribuidas estratégicamente por la CM, de modo que den servicio a la totalidad de los municipios con un mínimo costo de transporte de los residuos. Las tres plantas previstas se situarían en las cercanías de los actuales VSC en funcionamiento, construyéndose de forma escalonada.

La Planta de Clasificación de la Comunidad de Madrid en Pinto dispone de una capacidad de 30 Tm/h. Las otras dos serán de menor tamaño y podrán procesar un máximo de 15 Tm/h cada una. A medida que entren en servicio las restantes plantas, entre finales de 1998 y mediados de 1999, cada una recibirá y procesará los residuos de su área geográfica, cubriendo de este modo las necesidades que se plantearán cuando la totalidad de municipios realicen la separación de los residuos de envases, implicando a la mayoría de la población de los mismos.

Las estrategias de recolección de RSU en Barcelona. El Programa Metropolitano de Residuos, aprobado por la Entidad Metropolitana del Medio Ambiente en Junio de 1997, se caracteriza por el notable peso dado a la selectividad convencional y a la separación de la fracción orgánica.

Considerando que para el 2006 la recolección de RSU será de competencia exclusiva de las autoridades locales y que la renovación de las contratas del año 2000 integrará las dos actividades, juegan un papel importante la heterogeneidad de trama vial y la distribución espacial de las actividades, ya que son factores fuertemente condicionantes (Vergara i C. J.M., 1998).

Por lo anterior, se ha pasado de un diseño casi homogéneo a una diferenciación progresiva, dictada básicamente por los factores mencionados.

Actualmente la ciudad de Barcelona vierte o incinera la mayoría de los residuos (720,000 Ton/año): 75 % dispuestos en rellenos sanitarios, 20 % destinados a la recuperación en forma de energía y 5 % de los residuos son reciclados.

El programa proporciona las directrices sobre los sistemas de recolección a utilizar. La aplicación de estas directrices a la realidad de Barcelona se traduce en dos posibles alternativas respecto a la operación de recolección:

- ⊙ Alternativa 1. Centrada en la comodidad operativa y ciudadana, aunque a costa de resultados no muy prometedores.
- ⊙ Alternativa 2. Óptimos resultados de reciclado. Exige mayor esfuerzo.

ALTERNATIVA 1. Seguimiento estricto de las directrices marcadas por el programa metropolitano, con posibilidades de modificarse cuando la realidad de la ciudad lo requiera de forma indispensable.

Las características operativas de la alternativa 1 se presentan en la tabla III.1. La recolección selectiva se lleva a cabo con cinco agrupaciones de contenedores, lo cual representa 41,000 contenedores respecto a los 23,000 actuales. El resultado esperado en esta alternativa es alcanzar el 21 % de recolección selectivas respecto al 60 % de lo programado.

El requisito fundamental es una campaña intensiva inicial y recordatoria, durante al menos 4 años, destinada a concienciar para maximizar la selección en origen.

La colaboración voluntaria en la selección utilizando los contenedores de la vía pública condiciona de manera decisiva los resultados.

Los **resultados** cualitativos y cuantitativos esperados serían:

- 153,000 Ton recolección de forma selectiva

- 567,000 Ton restantes de desecho, sin otro destino previsto que la disposición en rellenos sanitarios o la revalorización energética

Ventajas:

- Comodidad para el ciudadano.
- Fácil implantación.
- Reutilización de material existente.

Tabla III.1. Características operativas de la Alternativa 1

8,800 PUNTOS DE RECOLECCIÓN	2,700 PUNTOS DE RECOLECCIÓN SELECTIVA*	RECOLECCIÓN DOMICILIARIAS
<ul style="list-style-type: none"> ● Materia orgánica: 1 contenedor cada 1,100 habitantes con recolección diaria. ● Desechos: 1 o más contenedores por cada 1,100 habitantes con recolección diaria. ● Envases: 1 contenedor cada 1,100 hab. con 3 recolección/semana 	<ul style="list-style-type: none"> ● Papel y cartón: 1 iglú cada 560 hab. ● Desechos: 1 iglú cada 560 hab. <p>*Las cifras de 3,200 ubicaciones recomendadas por el programa han sido ajustadas a la realidad de Barcelona.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Materia orgánica en Mercados, Restaurantes y otros grandes generadores. ● Papel y cartón en comercios y oficinas.
TOTAL: 35,600 contenedores	TOTAL: 5,400 "iglú"	

Fuente: Vergara i C. J.M., 1998

Inconvenientes:

- 11,500 grupos de contenedores con un total de 41,000 contenedores.
 - Puntos negros que permiten el anonimato y fomentan la indisciplina.
 - Eliminación de 9,000 plazas de aparcamiento.
 - Dificultades para la colocación de los contenedores.
- Voluntariedad en la separación.
- Responsabilidad nula del ciudadano respecto al reciclado y el medio ambiente.
- No permite la diferenciación comercio/domicilios.
- No supone un cambio de hábitos, exige importantes esfuerzos de concientización.
- Incrementa la carga de trabajo de limpieza diaria.

ALTERNATIVA 2. Los problemas de imagen que supone el incremento del mobiliario urbano inherente a la alternativa 1, unido a sus bajos resultados, inducen a buscar una segunda alternativa.

Esta alternativa pretende reducir la saturación de mobiliario urbano al mismo tiempo que maximiza la recolección selectiva de residuos. Para ello se retirarían los contenedores y se implantaría el sistema de cubos especiales (baldes). Se recogería en cada domicilio cada una de las cinco fracciones mediante los cubos especiales y bolsas que se guardarían en el interior de las fincas hasta el día de recolección. La materia orgánica de hoteles y restaurantes y el papel/cartón de comercios se llevaría a cabo en recolección adicionales.

TABLA III.2. Estrategia de recolección selectiva de la Alternativa 2

TIPO DE RESIDUOS:	ORGÁNICA (en baldes)	DESECHOS (en bolsas)	ENVASES (en bolsas)	PAPEL (en baldes)	VIDRIO (en baldes)
RECOLECCIÓN:	DÍAS ALTERNOS		SEMANAL		SEMANAS ALTERNAS

Mediante esta alternativa se espera recoger selectivamente el 40 % frente al 60 % programado. Para lograrlos se requiere:

- Campaña de concientización por la cual se invita al ciudadano a asumir su responsabilidad en materia medioambiental.
- Mayor esfuerzo y colaboración a cambio de una ciudad más limpia y responsable con su entorno.

Los **resultados** cuantitativos y cualitativos esperados serías:

- 300,000 Ton recolección selectivamente:
 - 170,000 Ton/año de materia orgánica (20 % impropios).
 - 16,000 Ton/año de envases.
 - 20,000 Ton/año de vidrio.
 - 94,000 Ton/año de papel y cartón.
- 420,000 Ton de desecho destinado al depósito controlado o bien a su revalorización energética.

Ventajas:

- La experiencia europea demuestra que es el método con más potencial para la recolección selectiva.
- Mayor cantidad y calidad de la recolección selectiva. Posibilidades de mejora incrementando la concientización del ciudadano.
- Elimina los contenedores de las calles de Barcelona, mejorando ostensiblemente su imagen y la calidad medioambiental.
- Concientización del ciudadano respecto a sus responsabilidades medioambientales.
- Permite la gestión individualizada de los residuos comerciales.

Desventajas:

- Supone un cambio importante, exige disciplina a ciudadanos y comerciantes.
- Complejidad del proceso de implantación, reparto y colocación de los cubos especiales en las fincas, difusión de normas, seguimiento, asesoramiento, etc.
- Requiere por tanto que el ayuntamiento disponga de un mayor número de medios humanos y materiales.
- Requiere mayor apoyo político y social.
- Requiere mayor esfuerzo publicitario para la concientización y formación del ciudadano y conseguir su aceptación.

El diseño final, sin duda, funcionará en Barcelona como una combinación de las dos alternativas, según cual sea la más adaptable a las condiciones específicas del territorio.

3.2 RECOLECCIÓN SELECTIVA DE RESIDUOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS.

Nilsson, Per (1996) reporta algunas experiencias obtenidas de un proyecto piloto en la ciudad de Copenhague, mediante el cual se pretendía observar la respuesta de la población a la introducción de la recolección selectiva y tratamiento de bioresiduos para suplir la incineración. Se utilizaron pequeños recipientes de plástico para los residuos de cocina, los cuales deberían ser vaciados en un contenedor en el patio. Alternativamente podría ser usada una bolsa de papel. Era predecible que el esquema del recipiente plástico, en las viviendas multifamiliares, no tendría acogida por la necesidad de llevarlo escaleras abajo, vaciarlo y volver a subirlo a la cocina otra vez. Así mismo, mucha gente objetaría que la

bolsa de papel es antihigiénica. Por lo tanto, también se probó una bolsa de polietileno de 20 micras en un gran número de viviendas.

Los contenedores ubicados en los patios se probaron de diferentes capacidades, con o sin ruedas. Muy pronto se notó la necesidad de utilizar algún protector de polietileno para mantener un nivel razonable de higiene. Las viviendas individuales probaron bolsas de papel de 30 litros.

Los vehículos de recolección empleados para el proyecto, se modificaron con un extractor de polvos, para evitar los riesgos por microorganismos.

Los resultados demostraron que la bolsa de plástico como receptor de residuos de cocina es el mejor aceptado y también produjo los mejores resultados de recolección.

La motivación ciudadana se dio al principio del nuevo esquema de recolección mediante una campaña publicitaria comprensiva e intensiva dirigida a:

- Explicación de los beneficios del tratamiento de los residuos biológicos.
- Aseguramiento de la clasificación y empaque correctos de los bioresiduos.
- Información sobre los resultados alcanzados.

3.3 RECOLECCIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS DOMÉSTICOS. Cada día más comunidades están implantando días de recolección de residuos peligrosos domésticos como parte integral de sus programas de gestión de residuos sólidos. Los programas de recolección de residuos peligrosos domésticos a menudo pueden ser mejor realizados si son implantados en una base regional. Un programa de este tipo ha sido operado en Virginia, EUA, desde 1986. Para 1989, los días de recolección se habían convertido en un programa de recolección permanente de residuos peligrosos domésticos. Cuando es posible, los residuos peligrosos, que consisten principalmente de pinturas, aceites, combustibles y pesticidas, se reutilizan, reciclan o tratan (Ladd, J., 1993).

López I., X. y Ansola, J. (1996, 1997) han llevado a cabo una experiencia piloto en Vitoria-Gasteiz y otra posterior en Bilbao, para diseñar una futura recolección de residuos peligrosos domésticos en toda la Comunidad Autónoma Vasca. Las pruebas piloto fueron contratadas a una sociedad y consiste en la realización de 5 y 8 jornadas, respectivamente, en las que el ciudadano ha podido entregar, sin ningún costo, los residuos peligrosos domésticos. Se elaboraron una serie de encuestas al respecto que junto con los resultados obtenidos en las jornadas, cantidades de residuos, características, sistemas de gestión de los mismos, etc. permitirían valorar y diseñar la implantación de la recolección de ese tipo de residuos para

toda la comunidad, cuya generación se estima en 9,480 Ton/año, un 1.33 % de los RSU y una tasa de 4.47 kg/hab/año.

De los resultados obtenidos se puede aprovechar la siguiente información:

- La ubicación de los centros de recolección de residuos peligrosos domésticos en una ciudad no puede considerarse de manera estándar, la preferencia del ciudadano varía en función de diversos factores. La respuesta más favorable se dio cuando el ciudadano tardaba menos de 5 minutos entre su casa y el centro de recolección (más del 95 %). La hora de mayor afluencia se da entre las 10 y 14 horas.
- Las campañas publicitarias juegan un papel fundamental en este tipo de programas. Pueden emplearse todos los medios audiovisuales locales y regionales. Los trípticos informativos y el buzoneo de los mismos pueden originar mejores resultados. Más del 80 % de la población ha tenido conocimiento de la campaña mediante trípticos y los medios de comunicación.
- El 100 % de la población encuestada opina que este tipo de esfuerzos debe generalizarse. Entre el 50 y 70 % de los participantes están dispuestos a pagar por los costos que corresponden a la realización del servicio de recolección y eliminación de este tipo de productos.

IV. REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS.

El reciclaje es una actividad que vuelve a integrar a un ciclo natural, industrial o comercial todos los desechos y desperdicios que se generan en las sociedades de hoy, mediante un proceso cuidadoso que permite llevarlo a cabo de manera adecuada y limpia.

Las características particulares de cada uno de los componentes de los RSU han sobresalido en las últimas décadas y los han valorado como recursos naturales en completo desperdicio.

La tabla IV.1 permite apreciar las posibilidades que tienen los RSU, por separación de sus componentes de ser recuperados, ya sea para reciclaje o reutilización.

Tabla IV.1. Composición de los residuos domésticos (1993)

COMPONENTE	FRACCIÓN
MATERIA ORGÁNICA	44.1 %
PAPEL	21.2 %
PLÁSTICO	10.6 %
VIDRIO	6.9 %
VARIOS	5.9 %
TEXTIL	4.8 %
METALES	4.1 %
GOMA Y CAUCHO	1.0 %
MADERA	1.0 %
PILAS Y BATERÍAS	0.2 %

Fuente: Medio Ambiente en España, 1993. MOPTMA

Los materiales listados en la tabla anterior, por si solos, representan una fuente de recursos para su aprovechamiento, mediante reutilización o reciclaje. En la actualidad se vienen desarrollando sistemas, formales e informales, que dan a los materiales diferente valor económico, considerando principalmente la calidad de los mismos y la demanda del sector que le dará la utilidad consiguiente.

Los productos de mayor interés en la recuperación, ya sean por recolección selectiva o mediante clasificación mecanizada se muestran en la tabla IV.2, así como los usos directos e indirectos.

Los procesos de reciclado se forman por la agrupación en serie de las anteriores operaciones, que por lo general son complejas. De esta complicación resulta la dificultad de

su operación. Las tendencias actuales pretenden su simplificación para hacerlos más operativos, e incluso la sustitución de sistemas mecanizados por recuperación manual por el impacto social de creación de puestos de trabajo.

Tabla IV.2. Componentes de los RSU de mayor interés.

<i>PRODUCTOS</i>	<i>USO DIRECTO</i>	<i>MANIPULACIÓN</i>	<i>USO INDIRECTO</i>
Papel y cartón Plástico	Materia prima	Prensado Briquetado	Briquetas combustibles
Chatarra férrica Aluminio	Materia prima		
Vidrio	Materia prima		
Fracción orgánica		Fermentación aerobia	Compost
		Fermentación anaerobia	Gas combustible
		Esterilización y peletizado	Alimento animal

4.1 LA SISTEMATIZACIÓN DEL RECICLAJE. Las prácticas de separación, procesamiento y reciclaje de los residuos sólidos por medio del sector informal han sido investigadas por Ali, I.; y Ali, S.M. (1993) a través de visitas de campo, entrevistas y cuestionarios. Se ha encontrado que en Karachi, Pakistán, están en operación prácticas a gran escala de reutilización y reciclaje de residuos sólidos por un sector informal desorganizado y desconocido. Este sector está jugando un papel vital en la reducción de cantidades de residuos, proveyendo empleo, en la producción de materias primas baratas, conservando energía y preservando indirectamente los sistemas ecológicos. Es recomendado que se reconozca, soporte y refuerce este sector para gestionar el problema inmanejable en los países en desarrollo.

Recientemente se han elaborado en la mayoría de los países avanzados guías de apoyo para la implantación de sistemas integrales de gestión de residuos sólidos. Así, la Asociación de Ciudades para el Reciclaje (Allen, C., 1998) ha presentado recientemente la “Guía para el reciclaje de envases y residuos de embalajes”, la cual es el resultado de intercambio extensivo de información entre miembros de dicha asociación y la experiencia de muchos

expertos de las autoridades locales, compañías privadas, federaciones y ONGs. La guía pretende asesorar a las autoridades locales para el diseño de estrategias y sistemas de reciclaje. Aunque la guía se enfoca a los envases y residuos de envases, muchos de sus capítulos son de utilidad para otras corrientes de residuos.

El Instituto Cerdà durante 1998 distribuyó a los municipios españoles, a través de la Fundación “Plásticos y Medio Ambiente” y otras asociaciones, una “Guía Integrada de Residuos Sólidos Urbanos” (Instituto Cerdà, 1997). Es un documento valioso porque:

- Pone al alcance de los técnicos y responsables de la Administración planteamientos operativos y organizativos que permiten abordar nuevos modelos de gestión de RSU, acorde con las características propias del territorio.
- Ayuda y orienta a las decisiones municipales en la elaboración de un plan de apoyo óptimo y viable.
- Identifica los aspectos fundamentales donde se deben concentrar los esfuerzos e cada una de las fases: diseño, promoción, implantación, control y seguimiento.

Cabe mencionar que la citada guía resalta la importancia de la prevención o reducción (incluida la reutilización), la segregación interna y la recolección selectiva de los RSU. El reciclaje y las alternativas de gestión del resto y del rechazo también son temas abordados.

En otros puntos del planeta se han llevado a cabo acciones comunitarias y hasta de beneficio social a través del empleo que generan. Así, en 1988 se creó en Chattanooga, EUA, el “Centro de Reciclaje Orange Grove” (OGRC), cuando la comunidad consiguió presionar lo suficiente para establecer una red de reciclaje. El centro, nacido de un proceso de colaboración único resuelto en un contrato con el ayuntamiento local, ha legado a ser la sede para el reciclaje en la región de tres estados, y ha tenido mucho éxito en la venta de las materias reciclables. El OGRC ha proporcionado un lugar donde llevar los productos reutilizables, ha creado un programa de educación sobre el reciclaje, y ha dado trabajo a unos 100 discapacitados psíquicos que no podrían trabajar de otra manera. El centro también gestiona con éxito 500 ton de desechos al mes procedentes de los tiraderos, y aumenta la calidad de vida de miles de personas en la región de Chattanooga. El centro ha llegado a ser un modelo nacional para los centros de reciclaje y está ganando la atención nacional y regional (ONU, 1998).

En Quito, Ecuador, diversas instituciones coordinadas por las autoridades locales han iniciado desde 1995 un programa de recuperación de residuos sólidos reciclables en la

fuelle con el objetivo de proveer de una fuente de trabajo alternativo a las personas que recuperan basura reciclable en el basurero municipal. Las personas que han participado, a pesar de que sus ingresos son menores, aprecian las mejores condiciones higiénicas de trabajo y no desearían regresar a su anterior lugar de trabajo. Entre los aciertos del programa se tienen: concientización ciudadana acerca de las ventajas de separar los residuos sólidos, con fines ambientales y sociales, a favor de un grupo marginado; desarrollo social y educativo de los miembros de la cooperativa; y oportunidad de trabajar conjuntamente las ONGs, los particulares y la municipalidad. Algunos inconvenientes observados son la falta de capacidad económica de la cooperativa para mejorar los campos de acción, falta de una política local y regional acerca del manejo de los residuos sólidos y su reciclaje, así como la interferencia y obstaculización política de la municipalidad en las actividades de la cooperativa (ONU, 1998).

En Brasil, el gobierno local de Belo Horizonte inició en 1993 un proyecto de recolección selectiva de materiales inorgánicos, caracterizado por excluir la recolección puerta a puerta de los materiales reciclables e incorporar, en su lugar, a los recogedores callejeros como los agentes preferentes responsables de la recolección de estos materiales en el origen. De esta manera el proyecto introduce cambios substanciales en el sistema de limpieza convencional que se realiza en la ciudad, e incluye los aspectos técnicos y de ejecución al introducir los equipamientos adecuados y las plantas para la recolección, el almacenaje y el destino de los materiales reciclables, así como un componente educativo importante. En el lado físico, este proyecto incorpora la instalación de contenedores de reciclaje para recibir los materiales previamente clasificados por la población que voluntariamente los lleva allí, y que son mas tarde recogidos por los recogedores callejeros (ONU, 1998).

Colombia tiene aproximadamente 50,000 familias de basureros (recicladores), que se ganan la vida recogiendo residuos sólidos. En 1986 una ONG emprendió un programa para organizar a los recicladores en asociaciones locales (Asociación Nacional de Recicladores, ANR). El propósito era ayudarlos a mejorar sus condiciones de trabajo reforzando sus sistemas de transporte y el control de calidad de los residuos seleccionados. El programa se ocupa también de las necesidades sociales tales como la educación infantil, el acceso al sistema de seguridad social y cuestiones relacionadas con la mujer. Desde su inicio, la ANR ha beneficiado a 25,000 familias de basureros en quince municipios colombianos. Ha creado instalaciones para almacenar los residuos y ha desarrollado sistemas de gestión de residuos dentro de las comunidades. El proceso de organización, provisión de equipamientos y empleo de las tecnologías adecuadas ha dado como resultado un 30 % de aumento en los

ingresos de los recicladores. Disponen de seguridad social y se han previsto casas en las principales ciudades para la educación de los niños, la formación y educación de los adultos y como centros de reunión (ONU, 1998).

Las fronteras de los inventarios de ciclo de vida de los productos incluyen el sistema entero asociado con la manufactura, uso y disposición de los productos. A la fecha, los aspectos de la disposición de los residuos sólidos han sido analizados primariamente en términos del volumen ocupado por los basureros, y la energía recuperada por las incineradoras. Históricamente esos han sido los aspectos de más interés. Rutinariamente se incluye el consumo de energía por las operaciones de residuos sólidos, pero generalmente es demasiado pequeño comparado con los requerimientos de energía para la manufactura del producto, y es de poco interés en un análisis del sistema de producción. La razón por la falta de análisis intensivo de otros aspectos de la gestión de residuos sólidos es que parecen de poca consecuencia, o los datos han sido tan pobres que no era posible analizarlos (Hunt, R. G., 1995).

4.2 DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA A INSTALACIONES DE RECUPERACIÓN. La afortunada entrada del concepto del reciclaje al esquema de la gestión integral de residuos sólidos ha contribuido ampliamente al cambio de la percepción del problema global de la basura en la sociedad como un todo.

De Uribarri, C. (1997) sostiene que el futuro del tratamiento y disposición de los residuos sólidos municipales será el resultado de la combinación lógica de sistemas limitados y razonables de recolección en la fuente e instalaciones integradas de recuperación de residuos, capaces de proveer tratamiento específico para cada una de las fracciones de residuos que lleguen a dichas instalaciones, ya discriminados o preclasificados.

Para las nuevas instalaciones de recuperación o procesamiento de residuos del futuro cercano deben ser consideradas al menos las siguientes características básicas:

- Un área de recepción y clasificación de residuos antes del tratamiento.
- Una plataforma de clasificación primaria para la discriminación de los embalajes difíciles de manejar y otros materiales indeseables.
- Un tromel criba para el rompimiento de las bolsas y separación de la fracción orgánica, lo cual puede ser el primer paso hacia más refinamiento y compostaje final.
- Una plataforma de clasificación secundaria para la selección manual de los materiales reciclables: papel, cartón, algunos tipos de plásticos, vidrio, etc.

- Una sección de separación ferromagnética automática, combinada con una prensa para embalaje de metal.
- Una sección de separación automática de materiales no ferrosos, para la recuperación de aluminio y otros metales no ferrosos.
- Prensas de embalaje para papel, cartón, plásticos y textiles.
- Una sección final para embalaje de alta densidad de las fracciones rechazadas en los procesos previos y por lo tanto destinadas a disposición final o incineración.

La inclusión de la sección final de embalaje de alta densidad es esencial para cerrar el círculo conceptual y la brecha entre una planta de tratamiento y una estación de transferencia.

La experiencia de Pamplona. En la Comunidad de Navarra se desarrolla una interesante experiencia de protección del medio que incluye la prevención, el tratamiento, reciclaje y recuperación de residuos en toda su gama y una política integral de tratamiento de aguas. El ciclo se cierra con el aprovechamiento de lodos de las depuradoras y de los residuos orgánicos para obtener compost de uso agrícola. La experiencia de residuos se centra preferentemente en las comarcas de Pamplona y Estella. La mejora en la calidad de las aguas navarras permite actualmente la vida piscícola y la práctica de agricultura ecológica en zonas, incluida la propia capital, Pamplona.

En la comarca de Pamplona la experiencia abarca un ámbito geográfico que incluye 40 municipios con una población de 284,000 habitantes sobre una superficie de 1,168 km².

Contempla un programa integral de recolección selectiva de vidrio, papel y cartón, pilas, medicinas y voluminosos. Con el resto de la basura se procede a la separación selectiva en origen de dos fracciones: envases y embalajes por un lado y el resto por otro. La primera fracción tiene como destino una planta de separación y clasificación para el reciclaje posterior de estos materiales. El resto se deposita en un basurero.

Desde junio de 1992 hasta octubre de 1995 se han reciclado 38,935 Ton de materiales, 28,683 en la planta de reciclaje de Góngora y 10,252 en las recolección especiales. El porcentaje de aprovechamiento de materia reciclada es bajo, alcanzando el 12 % de los residuos tratados.

El proceso de recolección se realiza mediante el siguiente proceso:

- Selección doméstica en origen de los residuos en dos bolsas, una para los residuos inertes reciclables (envases y embalajes) y otra para el resto de los desperdicios.

- Parque de 6,684 contenedores azules para el depósito de la bolsa con materiales reciclables y de 6,289 contenedores verdes para las bolsas con el resto de los desperdicios.
- Programa de recolección selectivas complementarias: papel, vidrio, pilas, voluminosos, textil y escombros.
- Planta de selección y triaje, con líneas específicas para el papel, vidrio, plástico, metales, etc.
- Área de disposición final provista de sistema de extracción y canalización para los gases de la biomasa.
- Se realiza una labor intensa de educación ambiental en el campo de los residuos con programas de información ciudadana y educación escolar tendientes a motivar y consolidar una nueva conducta social en relación con la recolección selectiva.
- Compostaje y utilización agrícola de los lodos procedentes de la depuradora de aguas residuales de Arazuri. No se realiza compostaje con los residuos orgánicos.

La Comarca de Pamplona, junto a otras seis mancomunidades navarras se ve afectada por el colectivo denominado Traperos de Emaús. Éste está integrado por 65 trabajadores fijos que recogen más de 2,000 Ton de diferentes materiales de desecho: voluminosos, papel y cartón, vidrio, ropas, zapatos y pilas eléctricas fundamentalmente. Los materiales recogidos son objeto de reutilización y reciclaje (excepto las pilas) alcanzándose un promedio del 70 % de materiales reciclados. Opera integrados a los planes de gestión de residuos de las siete mancomunidades y está formado casi exclusivamente por personas que difícilmente encontrarían empleo en España.

Navarra ha sido pionera en el tratamiento de residuos en la península y las experiencias allí puestas en marcha han servido de modelo para otras localidades y regiones españolas (ONU, 1998).

4.3 SEPARACIÓN DE RSU. El desarrollo de tecnología de separación automatizada de residuos sólidos es esencial para incrementar las tasas de recuperación y reducir los costos de reciclaje, particularmente de las fuentes mezcladas y sucias tales como los residuos sólidos municipales. Larrauri, E., Robertson, C., Köhnlecher, R., Evangelou, M. *et al.* (1998) se han involucrado y colaborado con varios socios europeos para desarrollar sistemas genéricos de separación y clasificación de materiales sólidos basados en técnicas

electrostáticas. Los resultados están siendo aplicados con éxito a escala piloto por la industria papelera para la separación y clasificación de papel y plástico de corrientes mezcladas.

La separación electrostática es una tecnología que posibilita separaciones de materiales que no pueden lograrse utilizando clasificación manual u otros métodos automáticos y que está encontrando cada vez más aplicación en las operaciones de reciclado.

El método se basa en que, al poner en contacto dos superficies, ambas se cargan eléctricamente y la carga adquirida por una de ellas siempre queda compensada en la otra por una carga igual pero de signo opuesto. Si las dos superficies son de materiales diferentes, la carga relativa dependerá de su naturaleza conductora o aislante.

La electricidad generada por frotamiento o triboelectricidad da lugar a las denominadas series triboeléctricas en las que los materiales quedan clasificados según el signo de la carga que adquieren unos con respecto a otros indicando la posibilidad de separación al colocarlos en un campo eléctrico. La carga triboeléctrica es un fenómeno de superficie altamente dependiente de la condición superficial de las muestras incluyendo la presencia de contaminantes e impurezas.

La tecnología de separación electrostática ha dado lugar a diferentes configuraciones para conseguir la carga, descarga y separación de partículas. Entre los modelos más importantes de separadores se encuentran:

- Separador electrostático de caída libre.
- Separador electrostático de levitación con entrada de aire.
- Separador de tambor electrostático.
- Separador de cinta transportadora electrostática.

La planta piloto de separación de papeles y plásticos utiliza un separador de cinta transportadora electrostática, y requiere varias etapas para la separación de los residuos, como el pretamizado, triturado y preacondicionamiento antes de la línea de separación. Asimismo, para el manejo y almacenamiento de los materiales separados se requieren contenedores, balas, etc.

El consumo energético del separador electrostático es pequeño, el consumo total de energía en los sistemas de pretamizado, triturado, acondicionamiento y alimentación y durante la manipulación del material son factores importantes para determinar el costo del proceso. Se

prevé que el separador electrostático sea el equipo con mayor costo y que el mayor consumo de energía se localizará en el triturador y la planta de acondicionamiento.

La dependencia de la humedad ambiental pone de manifiesto la necesidad de ajustar los potenciales del electrodo para mantener los parámetros de separación óptimos en todo el intervalo de condiciones de separación.

La separación de plásticos. Los métodos tradicionales de separación de plásticos se basan principalmente en la diferencia de densidades, y fracasan cuando se pretende separar plásticos con densidades similares (PVC/PET, PP/PE), cuando se presentan colores dentro de una misma composición o también, al interferir los aditivos que algunos polímeros contienen. Los métodos espectroscópicos, que identifican un plástico desconocido por comparación de su espectro con los de otros plásticos conocidos, contenidos en la base de datos del equipo, son una alternativa para una identificación más exacta. Pero cada uno de ellos presenta una serie de limitaciones que impiden abarcar el total de los materiales a identificar (polímeros, cargas, aditivos, etc.). Larrauri, E., Irasarri, L.M. *et al.* (1999) están desarrollando una tecnología que permita la rápida identificación y separación de los residuos plásticos para su posterior reciclado. Uno de sus proyectos integrará diversas técnicas analíticas como la espectroscopía de emisión atómica inducida por láser (LIBS), espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) y de infrarrojo medio (MIR) en el modo de reflexión, en un sensor híbrido, de forma que las limitaciones individuales de cada una sean complementadas por las otras.

4.4 NUEVAS TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE. El papel periódico viejo comprende cerca del 7 % de los residuos sólidos de EUA. Los productos convencionales del reciclaje de papel periódico incluyen aislantes de celulosa, lechos para animales, láminas o tejas de cartón, cajas de cartón, compost y más papel periódico. El papel periódico contiene una gran cantidad de celulosa. El proceso viscosa usa celulosa para fabricar rayón, película de celofán y esponjas de celulosa. Este proceso convierte la celulosa virgen en una sustancia gelatinosa, llamada viscosa, mediante reacciones con sosa cáustica y disulfuro de carbono. La viscosa se moldea en la forma del producto final deseado. La viscosa moldeada se puede regenerar a celulosa por reacción con ácidos. Rawski, E. D. y Cole, C. A. (1996), hipotéticamente proponen que el proceso viscosa puede usar exclusivamente papel periódico viejo como fuente de celulosa y de ahí resultaría un producto útil. Para probar su hipótesis se desarrolló un experimento usando papel periódico como fuente de celulosa en el proceso viscosa. El papel periódico fue convertido a formas crudas de películas de celofán y esponja de celulosa. También se utilizaron otras materias primas como fuente de celulosa,

como papel de oficina, bolsa de papel, cartón y revistas viejas. Los resultados obtenidos concluyen que el papel periódico viejo y otros tipos de papel pueden ser convertidos a productos útiles mediante el proceso viscosa.

Por otro lado, la infraestructura de materiales de construcción provee un mercado potencial significativo para las resinas plásticas recicladas. Actualmente hay varios ejemplos de materiales y productos de construcción que contienen resinas plásticas recicladas (Goulias, D. G. y Juran, I., 1996).

La innovación tecnológica, en el caso de los plásticos, está haciendo contribuciones significativas para la reducción en el origen y la conservación de la energía. Sin embargo, es también importante asegurar la recuperación efectiva de los plásticos después de su uso. El potencial real para el reciclaje de los residuos plásticos ha sido estudiado muy bien para el caso europeo. Analizando la disponibilidad de las diversas corrientes de residuos y relacionándolas con las demandas de reciclados de los principales sectores del mercado, se demuestra que hay límites prácticos elevados tanto para el suministro de residuos (restricciones de la recolección) como para la demanda de reciclados. Los volúmenes de plásticos reciclados mecánicamente pueden más que duplicarse para el 2006, con una tasa de crecimiento mucho más alta que para las resinas vírgenes. Es reconocido, con pocas excepciones, que la recolección y separación de los residuos plásticos tiene que ser subvencionada, y hay grandes diferencias para lograrlo en los países europeos. En un número limitado de casos, el reciclaje mecánico es una solución más viable que las tecnologías alternativas de recuperación (Mayne, N., 1999).

Tabla IV.3. Tasas de Reciclaje Mecánico de Residuos de Envases Plásticos (1996)

0 – 4 %	5 – 9 %	10 – 14 %	15 % +
Irlanda Portugal Grecia	Italia España Reino Unido Noruega	Holanda Bélgica/Luxemburgo Dinamarca, Finlandia Francia, Suecia	Austria Alemania Suiza

Fuente: Mayne, N., 1999

La Asociación de Fabricantes de Plásticos en Europa (APME, por sus siglas en Inglés) cree que para asegurar el cumplimiento de las metas de envases plásticos de cada país será necesario incrementar el nivel de reciclaje. Las nuevas inversiones no serán baratas, sin embargo, el pretratamiento es algo más simple, y las especificaciones menos críticas que para la mayoría del reciclaje mecánico. La gran ventaja es que la demanda para los

productos resultantes no es un problema. Un análisis de la gestión de residuos de envases en Europa muestra que un nivel medio de reciclaje mecánico de alrededor del 15 % será alcanzado, aunque muchos países estarán por debajo de este nivel, mientras que otros lo excederán.

El tratamiento de tubos fluorescentes usados (Tilli, Risto, 1996). El mercurio es un metal pesado muy tóxico y dañino para los humanos y para el ambiente. Los tubos fluorescentes contienen 60 a 100 ppm de mercurio. A este nivel de mercurio, cada millón de tubos fluorescentes libera al ambiente alrededor de 20 kg de mercurio.

Debido a los peligros conocidos, los tubos gastados no deben disponerse junto con los residuos sólidos municipales. El mercurio que se libera de los tubos incrementa la carga de metales pesados en los basureros. El mercurio sin tratar puede lixiviarse de los basureros al agua subterránea. Si se rompe un tubo, el mercurio se escapa a la atmósfera. Riesgos similares existen en la incineración de los residuos sólidos municipales, donde algo de mercurio se libera hacia la atmósfera.

La Unión Europea reconoció los peligros de los tubos fluorescentes al incluir los tubos en la lista de residuos peligrosos. Esto significa, para los estados miembros, la adopción de regulaciones más estrictas para la recolección y tratamiento de los tubos gastados.

La empresa Ekoteho Ltd, de Finlandia, ha desarrollado un proceso para prevenir el escape del mercurio al ambiente. El método utiliza un proceso de lavado en el que todas las etapas son llevadas a cabo bajo agua. La operación comercial de la planta inició en Abril de 1993.

En Cataluña (Domènech, 1998) el reciclaje de lámparas fluorescentes se basa en un proceso mecánico (descapsulación de los fluorescentes, recuperando el vidrio que constituye la lámpara o trituración de las que tienen formas especiales o de otro tipo) y de un proceso de destilación, similar al de las pilas botón, que permite la recuperación del mercurio contenido en ellas. El mercurio se libera en una cámara de destilación a una temperatura de 550°C. Los gases de la destilación pasan a una cámara de combustión a 800°C y finalmente a la condensación de los vapores de mercurio a 2°C.

Reciclado químico. El reciclado químico consiste en la despolimerización de los plásticos bien en monómeros o bien en materias primas de bajo peso molecular. En la primera posibilidad los monómeros pueden volver a ser utilizados para la polimerización, lo que se conoce como alcoholisis. En el segundo caso, conocido como pirólisis, las materias primas

pueden ser utilizadas para diferentes tipos de reacciones químicas incluida la producción de polímeros (Martínez O. C., 1998).

La tecnología del reciclado químico pretende ser una alternativa para el reciclado, ya que elimina alguna de las limitaciones del reciclado mecánico, en el que se necesitan grandes cantidades de residuos plásticos limpios y homogéneos para poder realizarlo con éxito. Con el reciclado químico no se hace necesaria la selección de los plásticos y pueden tratarse más fácilmente plásticos mezclados o heterogéneos, reduciendo así los costos de recolección y selección, y fabricando productos finales de calidad, de tal forma que posibilita un mercado final adecuado.

La primera planta comercial de reciclado químico en Europa se estableció en Alemania y es operada por Veba Oel. En ella los residuos plásticos mezclados procedentes de envases domésticos se convierten en petróleo sintético de alta calidad a través de la despolimerización y posterior hidrogenación. Esta empresa tiene una capacidad de reciclar químicamente 40,000 Ton de residuos plásticos por año.

Asimismo, BASF cuenta con una planta piloto de despolimerización con capacidad para 15,000 Ton/año mientras que un consorcio de cinco empresas, miembros de APME, ha indisposición final 4.9 millones de euros para desarrollar el reciclado químico basado en el sistema de craqueo en lecho fluidizado. La planta piloto se encuentra en Escocia y transforma los residuos plásticos mezclados en parafina que al mezclarla con nafta, puede ser utilizada como materia prima para crackers o refinerías. Según sus promotores, las plantas comerciales basadas en esta tecnología podrían estar en marcha en los próximos años. Las plantas basadas en este modelo podrían tener una capacidad de 25,000 Ton de residuos plásticos mezclados. La inversión total para una planta de este tipo se estima en 25 millones de euros (Martínez O. C., 1998).

Papaspyrides, C. D., *et al.*, (1999), reporta haber aplicado una técnica de refundición y reestabilización para el reciclaje de botellas amarillas de HDPE. Se desarrollaron múltiples ciclos de extrusión, a diferentes temperaturas de reprocesamiento, para monitorear la estabilidad del proceso, tanto del material reestabilizado como del no reestabilizado, como referencia. Por otro lado se efectuaron mediciones de las propiedades mecánicas típicas, para estudiar además el efecto de reestabilización. Para investigar la estabilidad térmica del material reciclado a largo plazo, se colocaron muestras en un horno de circulación de aire a 110°C por cerca de un año y se determinó el tiempo de embrittlement. Se aplicaron pruebas similares con intemperismo artificial para evaluar la estabilidad a la luz de los diferentes

grados reciclados. En todos los casos, se incluyó la repigmentación para investigar el papel de los pigmentos nuevos en el producto reciclado. Los resultados revelan el mejoramiento de la calidad del material viejo, permitiendo su reutilización en las aplicaciones originales.

Reciclaje de pilas botón y pilas bastón (Domènech, 1998). El objetivo del tratamiento es la recuperación del mercurio contenido en las pilas botón y que puede llegar hasta un 30 % en peso en las pilas de óxido de mercurio. Dado el bajo punto de ebullición del mercurio (357°C) respecto a los otros metales que configuran las pilas botón, el proceso al que son sometidas es la destilación. Este tipo de tratamiento es el que se ha impuesto por su efectividad y calidad en toda Europa. Por tanto, la selección del proceso no se plantea desde el punto de vista del principio de tratamiento, sino por la fiabilidad de los equipos. En este sentido, existen unas 30 instalaciones en todo el mundo.

Respecto a las pilas bastón, entre todas las pilas consumidas destacan por su número las alcalinas y las salinas, que representan más del 90 % del consumo, relegándose el resto a pilas botón, de litio y acumuladores níquel-cadmio. El objetivo del reciclaje de las pilas bastón es la obtención y aprovechamiento de los diferentes elementos que las componen, y en concreto, los metales.

El proceso se basa en la combinación de un proceso mecánico (tritución de las pilas y obtención de la fracción salina con recuperación de los materiales envolventes) y un proceso hidrometalúrgico, diseñado especialmente para alcanzar la recuperación de los elementos metálicos contenidos en la fracción salina de las pilas, recuperándolos en forma de disoluciones de gran pureza, metales y sales aprovechables para otros usos industriales.

4.5 EL MERCADO DE LOS RECICLADOS Y LAS NUEVAS OPORTUNIDADES.

Consumo y reciclaje de madera y papel (Kikiewics, Z. y Mrozinski, A., 1999). La materia prima para la manufactura de pulpa y papel son mayoritariamente fibras vírgenes de la madera, pulpas de fibras recicladas y materiales no fibrosos como materiales de empaque. La madera industrial producida en el mundo es cerca de 1.5 billones de m³. De ahí, la pulpa de madera representa 30 %. En general, la industria de la pulpa de papel recibe cerca del 37 % de la tala industrial y esto contribuye con cerca del 55 % de las fibras para papel. El restante es 38 % de reciclados y 7 % no maderables o cultivos anuales.

La materia prima para pulpa proviene de una variedad de tipos forestales, incluyendo 29 % de plantaciones, 37 % de regeneración gestionada – Europa y Norte América, 16 % de

bosques originales (Canadá y Rusia), 17 % de regeneración natural no gestionada y 1 % de maderas duras tropicales.

Para el 2010 la contribución de las plantaciones podría elevarse al 30 %. Esta fuente junto con la fibra reciclada puede alcanzar el 70 ó 75 % de la fibra para papel en el año 2020.

A pesar de que los mercados de pulpa y papel estuvieron estables al principio de los 90's, el consumo de papel y cartón se ha incrementado continuamente. El consumo alcanzó 290 millones de toneladas en 1997, un incremento de 100 millones de toneladas en 12 años.

Jaakko Pöyry pronostica que a fines del milenio el consumo excederá los 300 millones de toneladas y alcanzará cerca de 420 millones de toneladas en el año 2010. Asia tendrá el crecimiento más rápido en el consumo de papel durante este periodo, y en el 2010, si se incluye Japón, será el área del mundo con mayor consumo.

Se espera que la demanda de papel y cartón se incremente en un 50 % para el 2010. La cuestión es si hay capacidad para suministrarlo a la escala que es demandado. Al menos la fuente de fibra que se incrementará a la misma tasa de la demanda será el papel recuperado.

La disponibilidad de fibra reciclada depende de las tasas de recuperación. Los pronósticos son que para el 2010 la media será de alrededor del 47 %. En todo, esto implica que se incrementará la demanda de fibra reciclada. Se espera que la demanda se incremente a un rango de 3.8 % anualmente alrededor del 2010, cuando esté cerca de 200 millones de toneladas, el doble de la cantidad de hace dos años. El incremento será más rápido en Asia, ya que el consumo de papel se incrementa más rápido en esta área, y esto significa que en el futuro será importante el intercambio comercial de fibras entre las regiones.

El poli(etilen tereftalato), PET. Los mercados para el Poliéster/PET han exhibido en los últimos años inestabilidad extrema. La escasez de materias primas, combinada con la demanda excepcional de la industria textil, llevó los precios a niveles históricos altos en el periodo 1994/95, mientras que a la inversa, en 1996/97 esos factores hicieron que incluso declinaran más rápido (Noone, A. J., 1999).

La Directiva Europea de Residuos Sólidos y otras normativas nacionales han originado que en la mayoría de los países europeos se hayan establecido programas nacionales de recuperación y reciclaje de residuos de envases, incluyendo botellas usadas de PET.

Se estima que en 1998 la recolección de PET fue de 160,000 Ton y que para el 2002 alcance fácilmente 350,000 Ton.

En Europa, el PET reciclado ha sido utilizado por mercados mayoritariamente de usuarios tradicionales de residuos que aprovechan materiales de poliéster fuera de especificación. Estos mercados incluyen parte del mercado de fibras y de reciclaje químico para la producción de nuevas fibras.

Los usos comerciales del PET reciclado han sido confinados a la fecha para substituir contra las aplicaciones desarrolladas para el poliéster y el PET vírgenes. Pero no hay razón porque éste debería ser el caso. Mirando la situación de una manera más positiva, el resultado es que se tiene un suministro creciente de polímero con características excelentes en términos de, por ejemplo, resistencia térmica y química y alta resistencia tensión. La industria de recuperación ha desarrollado técnicas y tecnologías que bien pueden ahora asegurar los estándares de alta calidad con baja contaminación de unas partes por millón. La industria de procesamiento de plásticos puede mejor considerar esto como una nueva e importante materia prima mas que un sustituto para una resina establecida en un limitado número de aplicaciones comerciales.

Algunas de las áreas donde ha habido poca o ninguna aplicación comercial del PET reciclado incluyen:

- Películas Biax
- Películas sopladas o hinchadas
- Productos moldeados por inyección
- Espumas
- Tuberías
- Cables
- Perfiles extruídos
- Recubrimientos extruídos

Estos mercados representan colectivamente algo así como 19 millones de toneladas en aplicaciones de envases y otras no de envases.

Existen varios obstáculos para el uso del PET reciclado en esas áreas. Estos incluyen el desarrollo físico en la fase fundida y en particular su relativo estado fluido; su alta temperatura de procesamiento; la baja tasa de cristalización del polímero, lo que incrementa el tiempo de procesado y los costos, y la necesidad de secar el PET antes del proceso, para prevenir hidrólisis del polímero. Muchas de esas dificultades pueden ser eludidas, pero es necesario que haya incentivos, de tal manera que se alcance más penetración en el mercado. Los productores que han elegido los polímeros de una forma normal para ciertas aplicaciones no lo hacen sin incentivos, ya sean precios o desarrollos.

Tabla IV.4. Mercados Europeos para los Plásticos

PRODUCTO	MATERIALES PRINCIPALES	Ton x 10 ⁶
Películas Sopladadas	HDPE, LDPE, LLDPE, PP, PVC	6.0
Películas Biax	PET, PP, PA	1.0
Moldeado por inyección	HPDE, LPDE, PP, PVC, PS, ABS, SAN	5.0
Espumas	EPS, PU	2.0
Tubos	PVC	2.3
Cables	PVC	1.0
Perfiles extruídos	PVC	0.5
Recubrimientos extruídos	PVC	0.5
TOTAL		18.3

Fuente: Noone, A. J., 1999.

Sin embargo, hay algunos avances interesantes en estas áreas:

- Las películas de poliéster son producidas en los EUA en líneas de película soplada y es posible que los materiales recuperados puedan usarse al menos en algún porcentaje de mezcla.
- El film normal biaxialmente orientado que es producido en EUA (por DuPont) contiene un porcentaje de PET reciclado y se planea elaborar un producto similar en Europa.
- Las resinas moldeadas por inyección que contienen PET reciclado han sido producidas otra vez en EUA y ahora están siendo comercializadas en Europa. A la fecha el mejor estímulo ha sido el deseo de la industria automotriz de utilizar resinas con fracciones recicladas. En este caso hay algunas desventajas operativas y económicas al utilizar PET reciclado, pero se cree que podrían ser soslayadas si el mercado se desarrolla en gran volumen.
- El desarrollo en la producción de espuma de PET ha sido suprimido por algún tiempo. El grupo M & G de Italia introdujo su proceso hace algún tiempo y pondrán a prueba nuevos proyectos. Específicamente han identificado una oportunidad para el PET reciclado en esta área, por ejemplo, en aislamientos (no de alimentos).
- Ha habido importantes avances en el uso del poliéster de desecho en la manufactura de polioles, uno de los eslabones estructurales de la espuma de poliuretano. De hecho, en Francia se está estableciendo una empresa para este mercado, la cual procesará residuos de envases.

En Suiza, los niveles de recuperación y reciclaje de PET son más altos que en cualquier otro lugar del mundo. La mayoría de las aplicaciones para el PET reciclado son, sin embargo, ni

de larga duración ni de alto desarrollo y por consecuencia no toman ventaja completa de las propiedades del PET. Japon, S., (1999) llevó a cabo un estudio con el objetivo de reciclar botellas de PET en paneles de espuma aislante de larga duración y estructuras de dos cubiertas con relleno de espuma de alto valor usando una técnica de extrusión. Para estas aplicaciones, el PET y el PET reciclado fueron modificados químicamente para mejorar su punto de fusión para prevenir el colapso de la estructura espumosa durante la fase de estabilización del proceso de extrusión. Muestra que la modificación molecular incrementa la viscosidad intrínseca y la viscosidad extensional aparente. Estos resultados conducen a la espuma mejorada del PET reciclado produciendo estructuras de celda cerrada usando un proceso de CO₂ no dañino para el medio ambiente.

V. PROCESOS DE CONVERSIÓN BIOLÓGICA

El objetivo principal en la mayoría de los procesos de conversión biológica es la conversión de la materia orgánica de los residuos en un producto final estable. Para llevar a cabo esta clase de tratamiento, los organismos quimioheterotróficos son de una importancia primordial por necesitar compuestos orgánicos como fuente tanto de carbono como de energía.

La fracción orgánica de los RSU contiene normalmente cantidades adecuadas de nutrientes (tanto orgánicos como inorgánicos) para soportar la conversión biológica de los residuos. Sin embargo, con algunos residuos comerciales puede que los nutrientes no estén presentes en cantidades suficientes. En estos casos, es necesaria la adición de nutrientes para el crecimiento correcto de las bacterias y la subsiguiente degradación de los residuos orgánicos.

Los organismos quimioheterotróficos pueden agruparse adicionalmente según su tipo metabólico y sus necesidades de oxígeno molecular. Los organismos que generan energía mediante el transporte de electrones, mediado por enzimas, desde un donante de electrones hasta un receptor de electrones externo (como oxígeno) tienen un metabolismo respiratorio. En contraste, el metabolismo fermentativo no implica la participación de un receptor externo de electrones. La fermentación es un proceso productor de energía menos eficaz que la respiración; en consecuencia, los organismos heterotróficos que son estrictamente fermentativos se caracterizan por tasas de crecimiento y de producción celular menores que los heterótrofos respiratorios.

Cuando se utiliza el oxígeno molecular como receptor de electrones en el metabolismo respiratorio, el proceso se conoce como *respiración aerobia*. Los organismos que dependen de la respiración aerobia para conseguir sus necesidades energéticas sólo pueden existir cuando hay suministro de oxígeno molecular. Estos organismos se llaman *aerobios obligados*. Algunos compuestos inorgánicos oxidados, como el nitrito y sulfito, pueden funcionar como receptores de electrones para algunos organismos respiratorios en ausencia de oxígeno molecular (ver tabla V.1). En la ingeniería ambiental, los procesos que hacen uso de estos organismos a menudo se denominan *anóxicos*.

Los organismos que generan energía mediante fermentaciones y que existen solamente en un ambiente que está libre de oxígeno son *anaerobios obligados* o estrictos. Hay otro grupo

de microorganismos que tienen la capacidad de crecer en presencia o ausencia de oxígeno molecular. Estos organismos se llaman *anaerobios facultativos*.

Tabla V.1 Receptores típicos de electrones en reacciones bacterianas

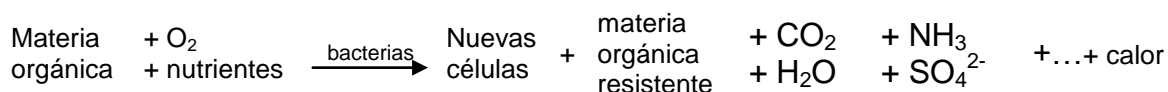
AMBIENTE	RECEPTOR DE ELECTRONES	PROCESO
Aerobio	Oxígeno, O ₂	Metabolismo aerobio
Anaerobio	Nitrato, NO ₃ ⁻	Desnitrificación
	Sulfato, SO ₄ ²⁻	Reducción del sulfato
	Dióxido de carbono, CO ₂	Metanogénesis

Los organismos facultativos entran en dos subgrupos según sus capacidades metabólicas. Los verdaderos anaerobios facultativos pueden cambiar su metabolismo respiratorio desde el fermentativo al aerobio, según la presencia o ausencia de oxígeno molecular. Los *anaerobios aerotolerantes* tienen un metabolismo estrictamente fermentativo, pero *son relativamente insensibles a la presencia de oxígeno molecular*.

Tabla V.2 Comparación entre los procesos del compostaje aerobio y la digestión anaerobia para el procesamiento de la fracción orgánica de los RSU

CARACTERÍSTICAS	PROCESOS AEROBIOS	PROCESOS ANAEROBIOS
Uso energético	Consumidor neto de energía	Productor neto de energía
Productos finales	Humus, CO ₂ , H ₂ O	lodos, CO ₂ , CH ₄
Reducción de volumen	Hasta el 50%	Hasta el 50%
Tiempo de procesamiento	20 a 30 días	20 a 40 días
Objetivo primario	Reducción de volumen	Producción de energía
Objetivo secundario	Producción de compost	Reducción de volumen, estabilización de residuos

5.1 PROCESOS AEROBIOS. La transformación aerobia general de los residuos sólidos puede describirse con la siguiente ecuación:



En muchos casos el amoníaco producido a partir de la oxidación de la materia orgánica carbonosa, se oxida todavía más para formar nitrato, proceso conocido como nitrificación.

Este proceso puede realizarse a temperaturas mesófilas con rango óptimo de 28° a 32°C, o bien termófilas entre 55° y 60°C, siendo necesaria la introducción de oxígeno para que la fermentación se realice a más velocidad.

El proceso de transformación aerobia de la materia orgánica es conocido comúnmente como compostaje. Algunos aspectos del proceso de compostaje que lo diferencian de otros procesos de estabilización de materiales orgánicos se mencionan en el siguiente párrafo.

Es un proceso bio-oxidativo (fermentación aerobia), lo que exige un condicionante biológico para su funcionamiento y por tanto, como todo lo vivo, estará sometido a factores muy diversos, que influirán en mayor o menor grado en la optimización de la actividad microbiana; el proceso implica sustratos orgánicos heterogéneos en su composición y procedencia y homogéneos en su tamaño; durante la transformación se suceden diferentes etapas lo que concluye en reacciones de diferente significado, con producciones metabólicas intermedias que pueden resultar fitotóxicas, de ahí la importancia del control de la maduración y de la gestión adecuada, finalmente, el proceso de compostaje conduce a la liberación de CO₂, agua, minerales y materia orgánica más o menos estabilizada, rica en poblaciones microbianas útiles y en bioactivadores de la fisiología vegetal.

Es evidente, que en el compostaje influyen todos los parámetros que actúan sobre la actividad de la vida microbiana, naturaleza del sustrato, humedad, temperatura, nutrientes, relación C/N, pH, y los que están en relación con el proceso mismo de compostaje, diferencias en el suministro de oxígeno y en la realización.

5.1.1 Compostaje. En todos los países europeos, el tratamiento de los residuos orgánicos se está convirtiendo en una de las prácticas claves de la gestión moderna de residuos. Los volúmenes en aumento de residuos y el reconocimiento de que los residuos orgánicos son materiales reciclables y recursos útiles, han contribuido al desarrollo tan dinámico de este campo. En cada país hay diferencias geográficas y demográficas, junto con las condiciones políticas y legales se establecen sistemas particulares de gestión de los residuos orgánicos, atendiendo diferentes prioridades. Similarmente las condiciones climáticas juegan una parte central. En los países como Italia, España y Francia, es obviamente mucho más fácil operar por ejemplo las plantas de compostaje que en los estados escandinavos, donde el compostaje es prácticamente calentado durante el invierno.

En todos los países hay competencias legislativas centralizadas, aunque algunos países, como Austria y España, también emplean fuertemente legislación regional. Casi todos los países llevan registros de las cantidades actuales y futuras de generación de residuos orgánicos, así como la composición de los residuos domésticos (ISWA, 1995).

Actualmente, en Francia, Italia y España los residuos domésticos son tratados biológicamente sin selección. La fracción orgánica es, por lo tanto, separada mecánicamente y digerida. Mientras que en Italia y España se planea adaptar las plantas existentes para la separación de los residuos orgánicos recogidos, este proyecto será prioridad absoluta solamente en Francia, donde está, sin embargo, percibido como una tendencia para los desarrollos futuros.

Austria, Dinamarca, Finlandia, Holanda y Noruega, apoyan el compostaje doméstico de muchas formas. La razón para ello es el hecho que se reduce de esta manera, el volumen de residuos municipales para disposición final. Sin embargo, las estructuras de subvención usadas en cada país, difieren ampliamente de uno a otro. El compostaje ha sido empleado por los agricultores desde hace siglos, como un medio de aporte complementario de suplemento orgánicos baratos, de buena calidad y fácilmente accesibles para sus tierras. En la actualidad, los agricultores que todavía compostan en sus fincas son minoría, sin embargo ha crecido el compostaje industrial fundamentalmente de residuos sólidos urbanos orgánicos, con el fin de recuperar la materia orgánica que desechamos con grandes costos económicos y ecológicos y obligados por los problemas de contaminación y de impacto ambiental que la eliminación de los residuos urbanos comporta.

Compostar de manera artesanal, no es más que imitar el proceso de transformación que ocurre en el suelo de un bosque, la fase industrial del proceso lo acelera, intensifica y dirige de manera artificial. Los objetivos generales del compostaje son:

- 1) Transformación de materiales orgánicos biodegradables en material biológicamente estable, y por consiguiente, la reducción del volumen original de los residuos;
- 2) Destruir patógenos, huevos de insectos y otros organismos no queridos que puedan estar presentes en los RSU;
- 3) Retención del máximo contenido nutricional (nitrógeno, fósforo y potasio); y
- 4) Elaboración de un producto que útil para soportar el crecimiento de plantas y como enmienda de suelo, al optimizar la relación C/N y controlar los tóxicos e inhibidores.

Tabla V.3 Consideraciones de diseño para el proceso de compostaje aerobio

PARÁMETRO	OBSERVACIONES
Tamaño de partícula	Para obtener resultados óptimos el tamaño de los residuos sólidos debería estar entre 15 y 30 mm.
Relación (C/N) Carbono/Nitrógeno	Las relaciones iniciales de carbono y nitrógeno (por masa) de entre 25 y 50 son óptimas para el compostaje aerobio. Con relaciones más bajas se emite amoníaco y también se impide la actividad biológica. Con relaciones más altas, el nitrógeno puede ser un nutriente limitante.
Mezcla y siembra	El tiempo de compostaje puede reducirse mediante la siembra con residuos sólidos parcialmente descompuestos, aproximadamente del 1 al 5% en peso. También pueden añadirse fangos de aguas residuales a los residuos sólidos preparados. Cuando se añaden los fangos, el contenido en humedad final es la variable fundamental.
Contenido de humedad	El contenido en humedad debería estar entre el 40 y el 50% durante el compostaje. El valor óptimo parece ser el 45%.
Mezcla/volteo	Para prevenir el secado, encostramiento y la canalización de aire, el material que está compostándose debería ser mezclado o volteado regularmente o cuando sea necesario. La frecuencia de la mezcla o volteo dependerá del tipo de compostaje.
Temperatura	Para obtener mejores resultados, la temperatura debería mantenerse entre 55 y 60°C para el resto del período de compostaje activo. Si la temperatura sube por encima de 66°C, la actividad biológica se reduce significativamente, por proceso de pasteurización.
Control de patógenos	Si se lleva a cabo correctamente, se pueden destruir todos los patógenos, hierbas malas y semillas, durante el compostaje.
Requisitos de oxígeno	La cantidad teórica de oxígeno necesario puede estimarse utilizando la relación estequiométrica. El aire con por lo menos el 50% de la concentración del oxígeno inicial restante debería llegar a todas las partes del material que está compostándose para conseguir resultados óptimos, especialmente en los sistemas mecánicos.
Control de pH	Para lograr una descomposición aerobia óptima, el pH debería permanecer en el rango de 6,5 a 8,0. Para minimizar la pérdida de nitrógeno en la forma de gas amonio, el pH no debería sobrepasar un valor de 8,5.
Grado de descomposición	El grado de descomposición puede estimarse mediante la medición de la bajada final de temperatura, el grado de la capacidad de autocalentamiento, la cantidad de materia orgánica descomponible y resistente en el material compostado, la subida en el potencial redox, la absorción de oxígeno, el crecimiento del hongo <i>Chaetomium gracilis</i> , y el ensayo almidón-yodo.

Fuente: Adaptada de Tchobanoglous, George *et al.* 1996.

Todos los sistemas de compostaje van orientados a fomentar la optimización de los parámetros que regulan el proceso, para obtener un buen compost en las circunstancias más favorables de menor tiempo de fermentación, lo que precisará una menor superficie de parque de fermentación y por consiguiente un menor costo. Además se intenta reducir el impacto desagradable de los olores.

Generalmente se considera al compostaje desde dos puntos de vista; el primero encierra las prácticas que facilitan la gestión óptima del ecosistema microbiano mientras que el segundo no. La gestión efectiva del ecosistema microbiano sostiene un proceso eficiente, y, así, entre otros beneficios económicos y prácticos están: a) capital y costos de operación reducidos; b) minimización de manejo del material; c) prevención de olores; y d) producción de compost mejor estabilizado (Bidlingmaier, W. y Papadimitriou, E.K., 1998).

La tabla V.4 provee una sinopsis de los pros y los contras de algunos de los sistemas de compostaje más frecuentemente usados.

Tabla V.4. Ventajas y desventajas de los procesos comunes de compostaje.

TIPO ABIERTO		TIPO CONTENEDOR (Reactor)	
Pila	Pila estática aireada		Paso de aire
Frecuencia de volteo prede-terminada	Presión negativa	Presión positiva	Control automático en función de la temperatura y el oxígeno
V E N T A J A S	<ul style="list-style-type: none"> -Opción de bajo costo. -Simple de operar. -Calidad aceptable del compost. 	<ul style="list-style-type: none"> -Útil en combinación con presión positiva. -Remoción efectiva del calor. -Bajos requerimientos de tierra. -Descomposición más rápida. -Menor tendencia a la generación de olores que el de presión negativa. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cantidades reducidas de aire de salida. -Tasa de compostaje alta. -Retención de emisión de gases. -Cumple con los estándares de salud y seguridad.
D E S V E N T A J A S	<ul style="list-style-type: none"> -Bajo nivel de control del proceso. -Requiere extensiones de tierra. -Causa olores. -Genera polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Difícil de operar. -Problemas de olores. -Generación de lixiviados. -Cantidades excesivas de gases a ser tratados. -Estratificación del material. -Descomposición baja. -Más costoso que el de presión positiva. 	<ul style="list-style-type: none"> -Requiere personal capacitado. -Elevados costos de inversión y operación. -Necesidad de tratar el lixiviado de la cámara de condensación. -Más emisiones gaseosas a ser tratadas.

Fuente: Bidlingmaier, W. y Papadimitriou, E.K., 1998

Como se indica en las tablas V.4 y V.5, el compostaje en pila puede ser una buena opción para gestionar residuos de jardín u otros residuos estacionales en regiones con disponibilidad de terreno. Las instalaciones deben localizarse suficientemente lejos de las áreas habitadas para prevenir quejas por los olores. La pila estática aireada o la pila aireada por volteo, asumiendo aireación forzada, tienen buena relación costo/eficiencia pero el potencial de olor está presente. La pila de aireación negativa es considerada de menor categoría que la de aireación positiva, la cual es más eficiente e implica menor costo.

Tabla V.5. Sistemas de compostaje contra tiempos de retención.

TIPO DE PROCESO	PILA (Aireación por volteo, más reposición de agua)	PILA ESTÁTICA AIREADA (Control automático de temperatura, más reposición de agua)	PILA AIREADA (Control automático de temperatura, reposición de agua y volteo)	CONTENEDOR O REACTOR (Control automático de temperatura, más reposición de agua)
ETAPA DEL PROCESO	DURACIÓN			
ACTIVA	16 a 40 días	16 a 30 días	14 a 21 días	4 a 15 días
ESTABILIZACIÓN (disminución de temperatura)	30 a 60 días	30 a 60 días	21 a 60 días	21 a 45 días
CURADO O MADURACIÓN	> 8 meses (volteado)	1 a 3 meses (aireado estático)	1 a 2 meses (volteado, aireado, agua añadida)	1 a 2 meses (volteado, aireado, agua añadida)
TIEMPO TOTAL	2 a 12 meses	2 a 6 meses	1,5 a 6 meses	1 a 4 meses

Fuente: Bidlingmaier, W. y Papadimitriou, E.K., 1998

Finalmente, los sistemas de contenedor o reactor con control automático de temperatura y/u oxígeno representan el estado del arte con respecto al cumplimiento de los estándares de eficiencia de proceso, salud y seguridad, sin embargo, en mayor costo.

El término “etapa activa” cubre el curso del proceso durante el cual las temperaturas son atribuidas a la abundancia de materia biodegradable. Esta etapa es seguida por la etapa de “estabilización”, al final de la cual el material alcanza temperaturas cercanas a la ambiental. Por último, la etapa de maduración puede o no tomar lugar dependiendo de los estándares de calidad de el compost que se deseen cubrir.

Esencialmente cuando se lleva a cabo el compostaje de un residuo se pretende hacer dos cosas: estabilizar y higienizar la materia prima que entra al ambiente aerobio. Sin embargo, los objetivos pueden volverse un poco efímeros cuando los resultados no concuerdan con

los parámetros de medición. Considerando el proceso a escala microbiológica, es extremadamente complejo y lejos de ser entendido parcialmente (Stentiford, E. I., 1998).

La **estabilización** del compost ha sido definida en función de sus características de olor, lo cual es difícil de medir. En términos de operaciones de campo se puede pensar que un material estabilizado después del compostaje no causa malos olores cuando se almacena normalmente en condiciones húmedas. Sin embargo, en términos de producto para el mercado, se necesita saber de otra manera que tan estable es el compost.

Los residuos no estabilizados normalmente tienen posibilidades de mantener una tasa alta de actividad microbiana. Los avances recientes han hecho posible detectar relativamente fácil esa actividad mediante la respirometría de bajo costo. La medición de la tasa específica de emisión de oxígeno (TEEO) da una aproximación de la actividad microbiana y de ahí una medida del grado de estabilidad. Esta medida, junto con la prueba de autocalentamiento usada en Alemania, puede dar una imagen del avance del proceso y de las características del producto.

Los valores de TEEO pueden variar ampliamente de una etapa a otra. Por ejemplo, los lodos de depuradoras estarían alrededor de 15 mg de O_2 /g SV por hora, a 30°C, pero después del compostaje se puede esperar que el producto estable tiene un valor menor de 2 mg de O_2 /g SV por hora. Se pueden esperar valores similares para un amplio rango de materiales compostables, pero no es conveniente utilizar tales valores numéricos de manera aislada, ya que es necesario conocer la ruta del proceso para confirmación.

Por otro lado, un proceso de compostaje bien diseñado convierte los materiales entrantes en productos “seguros en su uso”, no los esteriliza, de ahí, la comunidad microbiana activa que el compost proporciona beneficia los suelos pobres. Parece que ha habido dificultad para evaluar el nivel de **higienización** basado en pruebas del producto, ello involucraría utilizar organismos indicadores tales como coliformes fecales y/o estreptococos fecales. Estos organismos son abundantes en muchos residuos y rutinariamente se utilizan como indicadores en agua y aguas residuales. La preferencia en Europa y otros lugares ha sido especificar el proceso en términos de tiempo de compostaje a temperaturas elevadas, tal como se muestra en la tabla V.6. También, surgen algunas cuestiones respecto a los anteriores requerimientos:

- ¿Qué significa una simple temperatura en el contexto del compostaje cuya temperatura externa puede ser ligeramente superior a la ambiental y la temperatura interna de 60 a 70°C?
- ¿Cuántos otros productos van al consumidor dando como referencia las condiciones del proceso y no el análisis del producto?

Tabla V.6. Requerimientos del proceso para la higienización en la UE.

PAÍS	TEMPERATURA	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
Austria	65°C	6 días
Bélgica	60°C	4 días
Dinamarca	55°C (70°C*)	14 días (1 hora*)
Francia	60°C	4 días
Italia	55°C	3 días
Holanda	55°C	2 días

Fuente: Stentiford, E.I. (1998)

*Compostaje controlado

Ha habido presión de algunos investigadores y reguladores durante muchos años para adoptar un estándar basado en los niveles de organismos indicadores. En 1987 un grupo de expertos de la UE propuso < 500 col/g (peso húmedo) como nivel recomendado de coliformes fecales y < 5000 col/g (peso húmedo) para los estreptococos fecales, pero todavía no son utilizados de manera general.

Thi Loan, N. (1999), presenta resultados de la aplicación del proceso de compostaje del jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*), el cual es muy abundante en las regiones tropicales, con residuos sólidos domésticos, produciendo un acondicionador de suelo. Para acelerar el tiempo de maduración es aplicada la siembra de microorganismos, los cuales son proporcionados por el Departamento de Desarrollo de la Tierra (Tailandia). Estos consisten de tres grupos de microorganismos: fungi, actinomicetos y bacterias. Los resultados muestran que el tiempo requerido para que el proceso de compostaje alcance la maduración fue mucho mayor aplicando el compostaje en hilera o pila aerobia sin siembra de microorganismos que el compostaje con aireación forzada y siembra de microorganismos. La relación de jacinto acuático y residuos sólidos domésticos fue de 4:1 y los tamaños de la siembra bacterial de 0.01 % a 0.025 % dieron siempre la misma tasa de aceleración del tiempo de maduración. El compost final puede servir como acondicionador de suelo ya que la relación N:P:K resultó ser 2 % : 1 % : 2 % del peso total seco. Esta cantidad es bastante mas baja que el estándar de fertilizante sólido donde N:P:K es 12:12:12.

Vilan, C. Q. (1999), presenta una estrategia de reducción de residuos biodegradables con el uso de la tecnología del compostaje. Utiliza un organismo benéfico conocido como *Trichoderma* y que participa en la degradación biológica de los residuos para la producción del compost. El compostaje tarda de 3 a 5 meses. Con la aplicación del *Trichoderma*, un activador de los hongos, el proceso se reduce a 3 o 4 semanas.

Calidad del compost (Rodríguez Hurtado, E. y Giró i Fontanals, F., 1997). El concepto de calidad del compost es posiblemente un tanto escabroso, y no porque a menudo se vea como un término etéreo, cuando es objetivamente cuantificable, sino porque abarca múltiples aspectos parciales, confundiéndose a veces la referencia a uno de estos aspectos parciales con la visión global que debería tenerse de la calidad del compost.

Cuando se hace referencia, de manera genérica, a la calidad del compost se alude a una suma de calidades referentes a diferentes aspectos del compost. Estos aspectos pueden ser debidos a causas exógenas o bien endógenas. Los factores exógenos son aquellos que, siendo ajenos al proceso de compostaje, pueden afectarlo; son fundamentalmente cualquier tipo de contaminación provocada por la presencia de fragmentos de vidrio, plástico, elementos metálicos, etc., o por la liberación de elementos potencialmente tóxicos (metales pesados) u otros productos tóxicos (dioxinas, PCBs, etc.). Los factores endógenos son los que dependen exclusivamente del correcto desarrollo del proceso de compostaje (estabilidad de la materia orgánica, higienización del producto, etc.).

El compostaje de los residuos sólidos urbanos, donde los componentes orgánicos compostables se encuentran mezclados con el resto de los residuos, conduce a la obtención de un compost de calidad más que dudosa. La presencia de componentes no compostables incide básicamente en dos aspectos de la calidad del compost: la contaminación por elementos potencialmente tóxicos, como puede apreciarse en la Tabla V.7, y la presencia de componentes inertes como el vidrio y el plástico.

Cuando se evalúa la calidad de un compost es importante valorar todo el conjunto de estos aspectos, pero siendo conscientes que únicamente los aspectos derivados de los factores endógenos son imputables al proceso de compostaje; la responsabilidad sobre la calidad del compost relativa a los aspectos exógenos no debería recaer en las prácticas del compostaje.

Con objeto de mejorar la calidad del compost obtenido, algunos países han establecido la obligatoriedad de la recolección selectiva de materia orgánica de los residuos cuando el destino es el compostaje.

Todos los países europeos han reconocido el hecho que el compostaje de los residuos domésticos sin selección tiene un futuro limitado. Esto es por las cargas altas de metales pesados. Es posible alcanzar mejoras en la calidad del compost solamente mediante la recolección selectiva. Así, el ajuste de los sistemas de recolección a este requerimiento jugará un papel clave en los procesos futuros.

Tabla V.7. Contenido de metales pesados en el compost de RSU (Cataluña y Madrid) y en el compost procedente de recolección selectiva (Alemania) y vermicompost.

Metal pesado (ppm)	Compost de plantas de compostaje		Niveles máx.: BOE 146, 19/6/91 (fertiliz. y afines)	Compost de recolección selectiva en Alemania	Vermicompost Italia	Niveles máximos: RAL GZ 251
	Cataluña	Madrid				
Cd	5	7	40	0.5	2	1.5
Pb	670	413-681	1,200	62.0	329	150.0
Cu	480	550	1,750	47.0	154	100.0
Zn	698	1340	4,000	198.0	724	400.0
Ni	75	81-224	400	14.0	65	50.0
Cr	110	83-136	750	55.0	73	100.0
Hg	-	-	25	0.5	-	1.0

Fuente: Adaptada de Rodríguez Hurtado, E. y Giró i Fontanals, F., 1997 y Nogales, R., Elvira, C., Benitez, E. y Gallardo-Lara, F., 1997

Mientras que los criterios de calidad para compost –contenido de metales pesados- ya han sido adaptados a la recolección selectiva en Austria, Dinamarca y Holanda (el límite más estricto lo aplica Holanda), en Italia, Francia y España todavía se usan antiguos valores límite relativamente generosos (ISWA, 1995).

De Fraja F. E. y Vismara R. (1996) en su artículo sobre el futuro del compostaje en Italia y analizando los resultados insatisfactorios de calidad del compost producido en la mayoría de las plantas italianas concluyen lo siguiente:

- El compostaje es una solución apropiada para la estabilización de la materia orgánica contenida en algunas corrientes de residuos, especialmente cuando son adoptadas tecnologías simples.
- Puede obtenerse un producto final de buena calidad solamente si el proceso de compostaje se aplica a los desechos separados en la fuente, asegurando que no contienen contaminantes o materia indeseable.

- Los residuos sólidos municipales, no separados en la fuente, no son aceptables para la producción de compost de calidad. Los residuos que proveen mas ventajas para el compostaje se listan abajo, en orden de preferencia:
 - Residuos con alto contenido de materia orgánica biodegradable de mercados de frutas y verduras, de plantas de procesamiento de alimentos, restaurantes y negocios de servicio, mataderos, parques y jardines públicos, etc.
 - Lodos derivados de los tratamientos biológicos de aguas residuales provenientes del procesamiento de alimentos, producción animal industrial, manufactura de papel, industrias textiles y de la madera.
 - Fracciones orgánicas contenidas en los residuos domésticos.

Con relación a la calidad del compost, reportan que desde 1990 el Comité de Estándares Europeos de la UE, ha estado trabajando en un borrador de estándares para clasificar los productos del compostaje en dos clases: *mejoradores del suelo*, o compost de calidad media, cuya acción es mejorar la estructura física del suelo, y *medio de crecimiento*, o compost de alta calidad, el cual favorece el crecimiento de la planta.

Concordando con los autores, la definición de compost debería ser aplicada solamente a los materiales de alta calidad que benefician la agricultura y no dañan las plantas, al agua subterránea, los animales y al hombre.

Higiene ocupacional en compostaje. Los residuos orgánicos separados en la fuente en el área metropolitana de Helsinki han sido composteados en pilas aireadas. El problema encontrado más significativo en las primeras etapas del proceso ha sido la formación de malos olores, causando inconformidad humana. El desagradable olor se debía principalmente a los ácidos carboxílicos. Fueron detectados un total de 110 compuestos orgánicos en emisiones volátiles de las pilas de compostaje, mediante un método integrado de sensores e instrumentos. Ocasionalmente las temperaturas en las pilas excedieron los 80°C. Las mediciones bacteriológicas también revelaron poblaciones substanciales de bacterias a 75°C. Las concentraciones de microbios aéreos y las endotoxinas fueron más altas durante la trituración del material fresco y el volteo de compost, y eran relativamente altos durante el verano y cuando las pilas estaban secas. Los hongos más comunes en el aire eran *Aspergillus* and *Penicillium*. Las concentraciones de polvo eran relativamente bajas. Las concentraciones de microbios nunca fueron tan altas como para constituir un problema de salud por exposición ocasional. La exposición continua a tales concentraciones, sin

embargo, incrementa el riesgo de enfermedad. El tiempo necesario para que el compost se vuelva higiénico mejoró de cuatro meses a cuatro semanas durante el proyecto. El compostaje en tambor fue también probado y se encontró que es una buena alternativa para tratar los residuos orgánicos. Las emisiones del tambor también fueron bajas, comparadas con el compostaje de aire (Outi K. Tolaven, *et al.*, 1998).

5.1.2 Vermicompostaje de residuos orgánicos. El problema de la disposición de residuos sólidos orgánicos del centro comercial de vegetales de Jaipur, India, ha sido considerado por Jain, R.; Kashyap, R. P. y Raisinghani, M. (1996) y han demostrado que la biotecnología de la vermicultura es una solución viable y respetuosa del medio ambiente para la disposición de los residuos vegetales y que además es un proceso que genera riqueza a partir de los residuos.

El aparato digestivo de las lombrices es un reactor que provee un ambiente propio para que los microbios jueguen un papel importante en la descomposición de residuos. Las lombrices derivan su nutrición de la materia orgánica en la forma de materia vegetal, protozoarios vivos, rotíferos, nemátodos, bacterias, hongos y otros microorganismos y remanentes de descomposición de animales grandes y pequeños. Las evacuaciones de las lombrices son ricas en nutrientes vegetales y también contienen ciertas enzimas llamadas amilasas, proteasas, lipasa, celulasa, quitinasa e invertasa y las hormonas del crecimiento de las plantas conocidas como promotoras del crecimiento de ciertos microbios benéficos además de estimular el crecimiento de las plantas (Sharma, S. y Vasudevan P., 1999).

En Australia y Nueva Zelanda, las lombrices están siendo utilizadas a todos los niveles; desde los pequeños contenedores domésticos con lombrices al compostaje de gran escala de biosólidos municipales y residuos de jardín. Estos desarrollos están siendo soportados por una industria. Además se avanza en la investigación para expandir las aplicaciones de las lombrices y el vermicompostaje (Appelhof, M.; Webster, K.; y Buckerfield, J., 1996).

La isla de Cuba tiene actualmente más de 170 centros de vermicompostaje produciendo humus de lombriz para uso como fertilizante agrícola. El centro de producción más grande del país está localizado en la provincia de Pinar del Río. En ese centro de producción, el estiércol de ganado y los residuos de cultivos son precomposteados durante 15 a 30 días en pilas que se voltean dos veces a la semana antes de servir de alimento a las lombrices. Se colocan unas 50 lombrices en una caja de prueba que contiene el material para alimento. Después de 24 horas, las lombrices se cuentan, el material se utiliza como alimento para las lombrices si al menos sobreviven 48 ejemplares (Werner, M.; y Cuevas, J. R., 1996).

Pruebas de vermicompostaje en Nueva Zelanda. Peterson, D. R. (1996) reporta una serie de pruebas piloto efectuadas en Wellington, capital de Nueva Zelanda. Estas pruebas se llevaron a cabo para demostrar el valor del vermicompostaje para tratar residuos de supermercados y servicios de alimentos, los cuales, de otra manera, tienen como destino el basurero. Estas pruebas piloto en pequeña escala fueron posibles por la participación de las autoridades de la ciudad, voluntarios locales y una compañía de la comunidad, con soporte adicional de las industrias locales y el gobierno central.

Varios grupos en Nueva Zelanda están estimulando activamente el vermicompostaje a escala doméstica, y el método es admirablemente adecuado para esta corriente de residuos.

Los costos de disposición final en Nueva Zelanda son muy bajos comparados con los de América y Europa y solamente en las grandes ciudades las tarifas empiezan a acercarse a los costos verdaderos de disposición. El compostaje termofílico mecanizado, con éxito probado en Nueva Zelanda, tiene una importante subvención o se lleva a cabo en áreas con altos costos de disposición. Las únicas operaciones de vermicompostaje comercialmente exitosas se hallan en regiones con tarifas de disposición final muy altas [Sur de Francia, Portland (Oregon) y Sur de California]. En Australia se están desarrollando varias pruebas piloto a escala comercial, pero no se tiene todavía conocimiento de sus resultados.

La intención del proyecto en Wellington es desarrollar técnicas exitosas de bajo costo, evaluar su viabilidad comercial en el contexto local, y distribuir ampliamente los conocimientos. Como resultados se espera mejorar la reducción de residuos, mejoramiento ambiental, y estimular la creación de empleos. Asimismo se espera crear, al menos, una guía práctica para la gestión del vermicompostaje a escala media para las operaciones de los servicios de alimentos con posibilidades de usar terrenos (hostelería, escuelas, prisiones, etc.).

Para el vermicompostaje están empleando la lombriz roja *Eisenia foetida* y *Eisenia Andrei*, iniciando con 50,000 ejemplares. Están siendo probados varios diseños de camas de lombrices, con y sin cubiertas permeables. El sitio principal cuenta con impermeabilización en la base y se colecta todo el lixiviado. Las camas se construyen principalmente de madera y hierro corrugado reciclado, algunas otras de triplay y otras con estructura y laminas metálicas. Todas tienen cubierta movable y están construidas en unidades portátiles, diseñadas para abrir y cosechar el humus de lombriz.

La intensidad y tenacidad del calentamiento fue una sorpresa, a pesar de seguir las recomendaciones de la literatura. Se consideraron dos opciones; aplicar capas mucho más

delgadas de residuos alimenticios, o saturar con materiales ricos en carbono (aserrín, papel) para reducir la atracción de las bacterias termofílicas. Como el objetivo no era tratar el aserrín y el papel, se enfocó en perfeccionar el primer método.

Como una primera etapa, se amontonan los residuos en capas profundas para estimular el compostaje termofílico y posteriormente, cuando ya ha enfriado, se introducen las lombrices. Varias especies de lombrices existen ya en el área, y pueden también participar en el sistema. Este es un método que algunos proveedores comerciales de lombrices utilizan.

Durante la ejecución del programa, la recolección y transporte de los materiales no causaron gastos a los proveedores de residuos alimentarios. Pero son de considerarse las fuentes de ingreso provenientes de las contratas de recolección y el valor añadido del paisaje en las comunidades que usan el humus de lombriz. La venta de lombrices y del compost, para lo cual los mercados están limitados, se ve como un suplemento más que una fuente primaria de ingresos.

La información recogida durante la prueba incluye cantidades de residuos alimentarios, contaminantes, tasas de aplicación, materiales de la cubierta y de la cama, agua añadida a las camas, lluvia, lixiviados producidos, temperatura ambiental y de la cama de lombrices, compost producido, requerimientos de control de las lombrices, y análisis de nutrientes y otros componentes químicos en el compost y lixiviados. Se espera que dichos datos asistan futuros proyectos de vermicompostaje.

Los compost y vermicompost obtenidos a partir de la fracción orgánica de las basuras urbanas contienen nutrientes, a concentraciones variables, con potencialidad para cederlos al suelo y la planta. La tabla V.8 recoge valores de concentraciones de nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio de algunos compost españoles y vermicompost italianos (Nogales, R., Elvira, C., Benitez, E. y Gallardo-Lara, F., 1996).

Tabla V.8. Concentración de macronutrientes (%) en compost y vermicompost de RSU.

	ORIGEN DEL COMPOST / VERMICOMPOST					
	Granada	Jaén	Sevilla	Murcia	Madrid	Italia
N	1.1 – 1.5	1.6	1.5 – 2	0.9 – 1.1	1.4 – 1.8	0.7
P	0.3 – 0.5	0.7	0.3 – 0.6	0.4 – 0.7	0.3 – 0.6	0.3
S	0.2 – 0.7	0.8	–	–	–	–

K	0.5 – 0.8	1.3	0.6 – 1	0.3 – 0.4	0.5 – 0.8	0.5
Ca	7 – 10	10	–	–	6 – 7	6
Mg	0.8 – 0.9	0.9	–	–	0.4	0.7

Fuente: Nogales, R., Elvira, C., Benitez, E. y Gallardo-Lara, F., 1996.

Los efectos positivos que ocasiona el uso agrícola de los compost y vermicompost, expuestos por la mayoría de los autores, no excluye que la aplicación de estos materiales orgánicos, a dosis elevadas o de forma frecuente, tenga un efecto desfavorable sobre el suelo y la planta. Estos efectos negativos pueden ser debidos, fundamentalmente, a la presencia de concentraciones elevadas de a) sales, b) metales pesados y c) microcontaminantes orgánicos (Nogales, R., Elvira, C., Benitez, E. y Gallardo-Lara, F., 1997).

Un experimento particular de vermicompostaje se ha estado desarrollando en el sur de Italia (Matera). Se ha utilizado el vermicompost de lodos biológicos y aguas residuales depuradas municipales como una estrategia ecológica para la conservación de los suelos arables. El experimento utilizó un suelo sembrado con *Avena sativa*. Al final del experimento se llevó a cabo una fito-prueba con *Lepidium sativum* en los suelos tratados y se calculó el índice de crecimiento. Se halló una correlación positiva entre los parámetros químicos y biológicos demostrando que la productividad del suelo es afectada por los nutrientes minerales derivados de la mineralización de la materia orgánica (Masciandaro, G.; Ceccanti, B.; García, C., 1997).

Sharma, S. y Vasudevan P. (1999), reportan resultados de la aplicación de la tecnología del vermicompostaje con *Eisenia foetida* con diferentes residuos orgánicos de la India, tales como residuos de horticultura, sericultura y residuos de cocina. La predescomposición de los residuos hortícolas con especies de hongos aceleró la vermicultura y el vermicompostaje. Se hicieron comparaciones entre vermicompostaje con y sin inoculación de *Trichoderma viridae*. El valor fertilizante de los diferentes compost fue evaluado sobre el crecimiento de *Schizigium cumini* y *Psidium guajava*.

5.2 PROCESOS ANAEROBIOS. Ante la enorme cantidad de residuos orgánicos producidos anualmente, parece lógico pensar que la digestión anaerobia de residuos jugará un papel muy importante en la gestión de residuos en Europa. Hoy en día esta tecnología se aplica ya a escala industrial en diferentes países europeos (Martínez O. C., 1998).

En el proceso se obtiene el biogas que puede utilizarse como fuente energética. El material digerido se puede aplicar, en los casos en que el contenido de metales pesados y nitrógeno

lo permitan, directamente en el campo como enmienda orgánica, pero en general es preferible secarlo para su compostaje y comercialización posterior.

Los sistemas de digestión anaerobia pueden dividirse en dos categorías genéricas, los de alta concentración de sólidos, con una concentración en el reactor de 20 a 40 % y los de baja concentración de sólidos, con menos de 20 % de sólidos, usualmente de 3 a 15 %.

Los digestores de baja concentración son mayoritariamente operados en modo continuo para favorecer la estabilidad del proceso, mientras que los de alta concentración pueden operar de manera continua o por batches. Una mejor distinción puede hacerse basándose en sí el material en el digestor esta mezclado completamente o no.

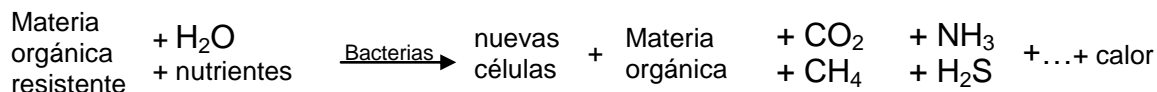
Por último, un proceso de digestión puede describirse como un proceso de un paso o de dos pasos, dependiendo de sí la metanogénesis toma lugar en un reactor distinto, separadamente de la hidrólisis y la acidificación. De estas etapas la última puede tomar lugar en un digestor de alta concentración o en uno de baja concentración, mientras que la primera es de un proceso de baja concentración.

Respecto a la mejor región de temperaturas de operación (mesofílica o termofílica) puede decirse que los niveles mesofílicos promueven mayor estabilidad del proceso a una demanda baja de calentamiento. Sin embargo, los sistemas de alta concentración pueden mantener temperaturas termofílicas a muy bajos requerimientos de calor. Se dice que una temperatura termofílica conduce mejor hacia la inactivación de patógenos y destrucción de semillas también, a pesar de la falta de evidencias concluyentes (Bidlemaier, W. y Papadimitriou, E.K., 1998).

Se piensa que la conversión biológica de la fracción orgánica de los RSU bajo condiciones anaerobias se produce en tres pasos.

- ♦ El primer paso en el proceso implica la transformación, mediada por enzimas (hidrólisis), de compuestos de masas moleculares más altas a compuestos aptos para usar como fuente de energía y tejido celular.
- ♦ El segundo paso implica la conversión bacteriana de los compuestos resultantes del primer paso a compuestos intermedios identificables de masa molecular más baja.
- ♦ El tercer paso implica la conversión bacteriana de los compuestos intermedios a productos finales sencillos, principalmente metano y dióxido de carbono.

Puede describirse la transformación anaerobia general de residuos sólidos mediante la siguiente ecuación:



Este proceso se realiza a temperaturas similares a las presentadas para procesos aerobios.

En operaciones donde los residuos sólidos han sido mezclados con fangos de aguas residuales, se ha encontrado que el gas recogido de los digestores contiene entre 50 y 60 % de metano. También se ha encontrado que aproximadamente se producen de 0.6 a 1 m³ de gas por kilogramo de sólidos volátiles biodegradables destruidos.

En la descomposición anaerobia de los residuos, algunos organismos anaerobios trabajan juntos para llevar a cabo la conversión de la fracción orgánica de los residuos en un producto final estable.

- ♦ Un grupo de organismos se responsabiliza de hidrolizar los polímeros orgánicos y los lípidos en unidades estructurales como ácidos grasos, monosacáridos, aminoácidos y compuestos relacionados.
- ♦ Un segundo grupo de bacterias anaerobias fermenta los productos descomponibles del primer grupo en ácidos orgánicos simples, el más común de los cuales en la digestión anaerobia es el ácido acético. Este segundo grupo de microorganismos, descrito como no metanogénico, está formado por bacterias anaerobias facultativas y obligadas que en la literatura frecuentemente se identifican como “acidógenos” o “formadores de ácidos”.
- ♦ Un tercer grupo de microorganismos convierte el hidrógeno y el ácido acético, producido por los formadores de ácidos, en gas metano y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de esta conversión son anaerobias estrictas, llamadas metanogénicas, y se identifican en la literatura como “metanógenos” o “formadores de metano”. Muchos de los organismos metanogénicos identificados en los basureros y en digestores anaerobios son similares a aquellos que se han encontrado en los estómagos de animales rumiantes y en sedimentos orgánicos sacados de lagos y ríos. Las bacterias más importantes del grupo metanogénico son las que utilizan hidrógeno y ácido acético. Tienen tasas de crecimiento muy lentas; en consecuencia su metabolismo normalmente se considera limitativo en el tratamiento anaerobio de residuos orgánicos. La estabilización de residuos

en la digestión anaerobia se lleva a cabo cuando se produce metano y dióxido de carbono. El gas metano es poco soluble, y su salida del basurero o de la disolución representa una estabilización real de los residuos.

Digestores anaerobios. El digestor es el reactor donde se lleva a cabo una digestión o fermentación; es un sistema cerrado cuyo interior es anaeróbico (carente de oxígeno) y dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar.

La anaerobiosis se logra en el digestor. A medida que se efectúa el llenado del reactor la materia prima, va desplazando el aire y con ello el oxígeno previamente contenido en el interior. Los procesos de oxidación de la materia orgánica consumen rápidamente el oxígeno del medio. Los gases que se producen son CO₂ y metano desplazando el aire del interior.

Las condiciones anaerobias logradas se mantienen a lo largo del tiempo siempre y cuando el digestor no sea vaciado.

Los parámetros más importantes a considerar en la digestión anaerobia, entre otros, son:

- Tiempo de residencia
- Temperatura
- pH
- Alcalinidad
- Ácidos grasos volátiles
- Elementos nutritivos
- Inhibidores de la digestión anaerobia
- Relación carbono-nitrógeno (C/N)
- Agitación
- Carga volúmica (CV)

Tipos de digestores. Una clasificación sencilla tomando en cuenta el diseño del digestor (posición) y el tipo de proceso empleado (continuidad en la alimentación) nos da varios tipos de digestores. Esta clasificación puede ser aplicable a la mayoría de los digestores; pero es particularmente adecuada para digestores rústicos y semirústicos cuya materia prima sea las deyecciones animales o algunos residuos vegetales semisólidos. Hay algunas excepciones particulares, como es el caso de los digestores esféricos desarrollados en China o en el caso de la clasificación especial de los reactores para sustratos muy diluidos.

En la tabla V.9 se presentan algunas de las principales instalaciones de metanización en operación en Europa con capacidad superior a 10,000 toneladas anuales.

Factores ambientales. Para mantener un sistema de tratamiento anaerobio que estabilice eficazmente un residuo orgánico, las bacterias no metanogénicas y metanogénicas deben estar en un estado de equilibrio dinámico.

Para establecer y mantener tal estado, los contenidos del reactor deberían estar libres de oxígeno disuelto y de concentraciones inhibitorias de amoníaco libre y de constituyentes como metales pesados y sulfitos. También, el pH del ambiente acuoso debería variar entre 6.5 y 7.5. Asimismo la alcalinidad será suficiente para asegurar que el pH no caerá por debajo de 6.2, porque las bacterias de metano no pueden funcionar por debajo de este umbral. Cuando se realice la digestión adecuadamente, la alcalinidad normalmente variará de 1,000 a 5,000 mg/l y los ácidos grasos volátiles estarán por debajo de 250 mg/l. Los valores de la alcalinidad y de los ácidos grasos volátiles en el proceso de digestión anaerobio de sólidos en altas concentraciones pueden ser tan altos como 12,000 y 700 mg/l, respectivamente.

Tabla V.9. Principales instalaciones de metanización en operación en Europa

CIUDAD, PAÍS	TECNOLOGÍA	TON/AÑO	TIPO DE RESIDUOS	INICIO
Breda, Holanda	Paques SW	25,000	Residuos de mercados	1987
Amiens, Francia	Valorga	85,000	RSU sin recolección selectiva	1987
Vaasa, Finlandia	Waasa	60,000	RSU sin recolección selectiva	1989
Elsinore, Din.	BTA	20,000	Vegetales, frutos/Jardinería	1991
Brecht, Bélgica	DRANCO	12,000	RSU con recolección selectiva	1992
Salzburg, Austria	DRANCO	20,000	RSU con recolección selectiva	1993
Tilburg, Holanda	Valorga	52,000	RSU con recolección selectiva	1993
Kelheim, Ale.	BTA	13,000	Vegetales, frutos/Jardinería	1995
Breda, Holanda	Paques SW	25,000	Residuos de mercados	1996
Wels, Austria	Linde	15,000	Vegetales, frutos/Jardinería	1996

Fuente: Martínez O. C., 1998

Una cantidad suficiente de nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo, también han de estar disponibles para asegurar el crecimiento correcto de la comunidad biológica. Según la naturaleza de los fangos o de residuos que van a digerirse, quizás también se requerirán factores de crecimiento. Otro parámetro ambiental importante es la temperatura. Las gamas de temperaturas óptimas son las mesofílicas, 28° a 32°C y las termofílicas, 55 a 60°C.

Utilización del compost. El aprovechamiento típico de los compost ha sido en agricultura, debido a los efectos positivos en los cultivos: fuente de humus, propiedades fertilizantes, mejoramiento de las propiedades físicas del suelo y de la capacidad de intercambio de cationes, incremento de los valores de pH, aumento de la actividad biológica del suelo e influencia positiva sobre la calidad de los productos vegetales (Hams, S. y Becker, G., 1999).

En general el compost producido a partir de residuos orgánicos tiene varios rangos de utilización en Alemania, de acuerdo a la distribución de la tabla V.10.

Sin embargo, el compost de residuos sólidos municipales, el cual ha sido producido en Alemania a finales de los 80s, solamente puede ser vendido para su aplicación a ciertos rangos (por ejemplo, la recultivación). La situación del mercado confirma las grandes diferencias en la calidad y explica la importancia de la recolección separada de los residuos orgánicos para la producción de un compost más vendible.

Tabla V.10. Rangos de Utilización del Compost

RANGO DE UTILIZACIÓN	PORCENTAJE
Agricultura	33
Horticultura comercial	6
Horticultura y paisajismo (viveros de árboles)	19
Jardines privados y hobbies	11
Cultivos frutales y de vid	13
Parques públicos	5
Recultivación	8
Otros	5

Fuente: (Hams, S. y Becker, G., 1999).

Un biofiltro basado en compost fue operado a escala de laboratorio en un periodo de 6 meses para estudiar los requerimientos para la remoción de n-hexano del aire. El hexano es un hidrocarburo alifático de cadena relativamente corta con un coeficiente de Henry alto y baja solubilidad en agua. La aclimatación del biofiltro fue baja, pero las eficiencias de remoción alcanzadas después de un mes de operación fueron del 80 %. Sin embargo, el desarrollo declinó durante los siguientes dos meses de operación a 50 % de eficiencia de remoción. Se propuso como una razón para ello, la limitación de nutrientes. Después de la adición de una solución concentrada de nitrógeno, la eficiencia del reactor se incrementó casi inmediatamente a 99 %. La eficiencia de remoción se mantuvo a ese nivel en los siguientes dos meses de operación a concentraciones de entrada de 0.7 g/m^3 (200 ppmv), a velocidades superficiales que alcanzaron 50 m/h, y tiempos de residencia en el lecho de casi un minuto (Morgenroth, E.; Schroeder, E. D.; *et al.* (1996).

Otro estudio desarrollado por Tang, H. M.; Hwang, S. J. y Hwang, S. C. (1996) trata de la biofiltración de corrientes de gas contaminado conteniendo trietilamina (TEA) de mal olor. El experimento se desarrolló en un reactor a escala de laboratorio con una mezcla de compost

cribado y partículas de chaff como medio filtrante sobre el cual fueron inmovilizados los microorganismos. Las concentraciones de TEA en el gas de entrada variaron de 0.32 a 3.45 g/m³ (78 ppmv a 841 ppmv), mientras que la velocidad superficial del gas de entrada era de 60.1 a 322.2 m/hr. La eficiencia de remoción de TEA en el biofiltro disminuía si la velocidad del gas o la concentración de TEA en el gas de entrada se incrementaban. Sin embargo, la capacidad de eliminación de este biofiltro pudo alcanzar más de 140 g/m³hr. Cuando la carga de TEA excedió este valor crítico, ocurrió la inhibición del sustrato y la disminución en la capacidad de eliminación.

VI. MÉTODOS TÉRMICOS

Se utilizan los procesos de transformación para reducir el volumen y el peso de los residuos que requieren evacuación y para recuperar productos de conversión y energía. La fracción orgánica de los RS puede transformarse mediante diversos procesos químicos y biológicos. El proceso químico más frecuentemente utilizado es la incineración, que se puede utilizar para reducir el volumen original de la fracción combustible de los RS del 85 al 95%. Además, la recuperación de energía en forma de calor es otro rasgo atractivo del proceso de incineración. El control de la contaminación todavía sigue siendo una preocupación importante en la implantación. Aunque se pueden cumplir los requisitos más estrictos sobre el control de contaminación aérea mediante el uso de la tecnología existente y en desarrollo, sigue siendo un problema importante la localización de tales instalaciones.

La recuperación de la energía de los residuos permite completar el ciclo de la gestión creado a partir de la reducción, reutilización y reciclaje de los residuos, aprovechando su valor energético. Después de estos tres tratamientos, todavía el 50 ó 60 % de residuos queda sin ser tratados y no se recupera su energía (Seddon-Brown, W., 1998).

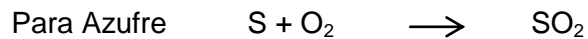
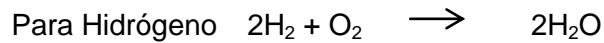
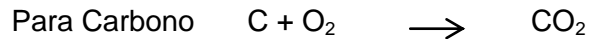
La recuperación total de los residuos se eleva hasta un 80 u 85 % con el aprovechamiento de la energía. Esto, en Europa, juega un papel importante en la producción de energía y en la gestión de los residuos sólidos. La tecnología disponible es competitiva con otros procesos de generación energética.

Cuando se aplica la co-generación, la eficiencia de las incineradoras de RSU se incrementa entre 60 y 80 %. La co-generación ocurre cuando el vapor de salida de la generación de energía se convierte en electricidad, o se utiliza en la producción de agua caliente para uso industrial o para calefacción de edificios.

Seddon-Brown, W. (1998) resalta que utilizando la energía de los residuos se pueden ahorrar valiosos combustibles fósiles de una manera extraordinaria. En Europa, el 5 % de las necesidades energéticas pudieran cubrirse mediante la recuperación de la energía de los residuos.

6.1 PROCESAMIENTO TÉRMICO. Es la conversión de los residuos sólidos en productos de conversión gaseosos, líquidos y sólidos con la simultánea emisión de energía en forma de calor. De acuerdo a sus requisitos de oxígeno los sistemas de procesamiento térmico se clasifican en:

- ♦ *Combustión estequiométrica:* Contiene la cantidad de oxígeno exactamente necesaria para la combustión total. Las reacciones básicas para la combustión estequiométrica son:



- ♦ *Combustión con aire en exceso:* Es la combustión con oxígeno en exceso sobre las necesidades estequiométricas. Por la naturaleza heterogénea de los residuos sólidos es casi imposible incinerar residuos sólidos con cantidades estequiométricas de aire. En sistemas de incineración se debe utilizar oxígeno adicional para aumentar la mezcla y las turbulencias asegurando así que el aire pueda llegar a todas las partes de los residuos.
- ♦ *Gasificación:* Es la combustión parcial de los residuos sólidos bajo condiciones subestequiométricas para generar un gas combustible que contiene monóxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos gaseosos.
- ♦ *Pirólisis:* Es el procesamiento térmico de residuos en ausencia completa de oxígeno.

El calor emitido durante el proceso de combustión es parcialmente almacenado en los productos de combustión y parcialmente transferido por convección, conducción y radiación a las partes del sistema de combustión, al combustible entrante y a los rechazos. Si se conoce la composición elemental de los residuos sólidos se puede estimar el contenido energético utilizando la forma modificada de la ecuación de Dulong. El contenido energético de los residuos sólidos se basa en un análisis del poder calorífico de los componentes individuales de los residuos.

6.2 SISTEMAS DE INCINERACIÓN. La incineración es el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión, compuestos principalmente de nitrógeno, monóxido de carbono y vapor de agua (gas de chimenea) y rechazos no combustibles (ceniza). Se puede recuperar energía mediante el intercambio del calor procedente de los gases calientes de combustión. Sistema extremadamente exotérmico.

El proceso en general consiste en secar la basura dentro del horno (elevar la temperatura de la misma hasta el grado de incineración), introduciendo el aire necesario para la combustión y por último, evacuar los residuos.

Los productos gaseosos no contienen gas de destilación maloliente ni óxidos de carbono, debido al exceso de aire que se emplea. Las escorias son materiales inorgánicos óptimos para rellenos, pavimentación de calles y usos similares, su producción representa entre el 5 y el 10%.

El poder calorífico de la basura oscila entre límites bastantes amplios de acuerdo a su composición. El poder calorífico representa dos ventajas:

1. La combustión ocurre de manera autónoma, sin necesidad de aportación de combustibles, excepto para los arranques de los hornos.
2. Las grandes cantidades de calor que se producen ameritan ser utilizados.

El proceso de incineración representa ciertas ventajas:

1. Elimina el problema de la salud originada por la acumulación de desperdicios.
2. Reduce el volumen de desechos sólidos en un 85% y consecuentemente requiere menos espacio para su disposición final.

Las incineradoras de residuos sólidos se pueden diseñar para operar con dos tipos de sólidos como combustible:

- ♦ RSU bruto o en masa no seleccionados (incineración en masa)
- ♦ RSU procesados, conocidos como combustible derivado de residuos (CDR).

Las incineradoras de RSU en masa son el tipo predominante. En 1987 el 68% de la capacidad operacional de las incineradoras en Estados Unidos fue proporcionado con unidades de incineración en masa y el 23% con unidades de quemado CDR. El 9% restante de la capacidad fue proporcionado con unidades de incineración modular de incineración en masa.

Incineradoras de combustión en masa. En la incineración de combustión en masa se da un procesamiento mínimo a los residuos sólidos antes de colocarlos en la tolva de alimentación de la incineradora. El operador de la grúa encargado de cargar la alimentadora puede rechazar artículos claramente no aptos. Sin embargo, se debe suponer que cualquier objeto dentro del flujo de RSU puede entrar finalmente en la incineradora, incluyendo objetos voluminosos no combustibles, incluso residuos rechazables sin causar daños al equipamiento o personal. El contenido energético de los residuos quemados en bruto puede ser extremadamente variable, según el clima, la estación del año y el origen de los residuos.

A pesar de estas desventajas potenciales, las incineradoras de combustión en masa han llegado a ser la tecnología elegida para la mayoría de las incineradoras existentes y planificadas.

Incineradoras alimentadas por CDR. Comparándolo con la naturaleza incontrolada de los RSU no seleccionados y no procesados, el CDR puede producirse a partir de la fracción orgánica de los RSU, con una consistencia bastante buena como para cumplir las especificaciones de contenido energético, humedad y contenido de cenizas. Se puede producir CDR en forma triturada o fibrosa, o en formas cilíndricas o cúbicas densificadas. El CDR densificado (CDRd) es más costoso de producir pero es más fácil de transportar y almacenar. Se pueden quemar las dos formas solas o mezcladas con carbón.

Por el contenido energético más alto del CDR comparándolo con los RSU no procesados, los sistemas de incineración de CDR pueden ser físicamente más pequeños que los sistemas comparablemente equivalentes de RSU quemados en bruto. Sin embargo, se necesitará más espacio si el sistema de procesamiento necesario para preparar CDR se va a localizar al lado de la incineradora. Un sistema alimentado por CDR también se puede controlar más eficazmente que un sistema de incineración en masa, por la naturaleza más homogénea del CDR que permite un mejor control de contaminación aérea. Adicionalmente, un sistema correctamente diseñado para el procesamiento de los RSU puede lograr la separación de porciones importantes de metales, plásticos y otros materiales que puedan contribuir a emisiones aéreas nocivas.

Recuperación de energía. Virtualmente todas las nuevas incineradoras actualmente en construcción en Estados Unidos y Europa emplean alguna forma de recuperación de energía para ayudar a recuperar los costos de operación y reducir los costos de financiamiento del equipamiento para controlar la contaminación aérea. La energía puede recuperarse de los gases calientes de chimenea generados por la incineración de RSU procesados, de combustible sólido en forma cilíndrica o de RSU no procesados, mediante dos métodos:

- 1) Uso de una cámara de incineración de pantalla de agua y
- 2) El uso de calderas de calor procedente de residuos o ambos.

Se puede generar agua caliente o vapor; el agua caliente puede utilizarse para calefacción y para generación de electricidad.

6.3 SISTEMAS DE PIROLISIS. La pirólisis es el procesamiento térmico de residuos en ausencia total de oxígeno. Utilizan una fuente de combustible externa para conducir las reacciones endotérmicas de pirólisis en un ambiente libre de oxígeno.

Como la mayoría de las sustancias orgánicas son térmicamente inestables se pueden romper, con un calentamiento en un ambiente libre de oxígeno, mediante una combinación de desintegración térmica y reacciones de condensación en fracciones gaseosas, líquidas y sólidas. El proceso es altamente endotérmico requiriendo una fuente de calor externa.

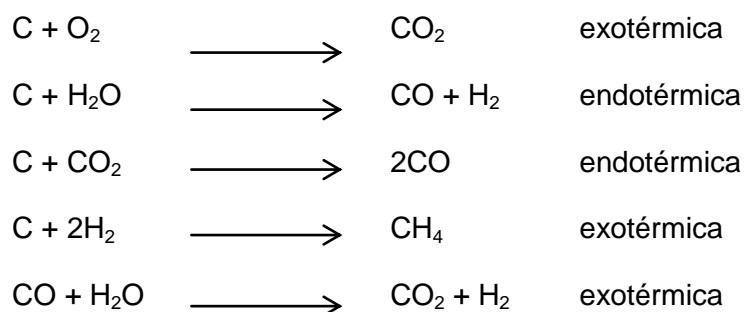
Las tres fracciones de componentes más importantes producidas mediante pirólisis son:

- ♦ Una corriente de gas que contiene principalmente hidrógeno, metano, monóxido de carbono y diversos gases, según las características del material que es pirolizado.
- ♦ Una fracción líquida que consiste en un flujo de alquitrán o aceite que contiene ácido acético, acetona, metanol e hidrocarburos oxigenados complejos. Con un proceso adicional, la fracción líquida puede utilizarse como aceite combustible sintético sustituyendo al aceite combustible convencional número 6.
- ♦ Coque inferior, que consiste en carbono casi puro más cualquier material inerte originalmente presente en los residuos sólidos.
- ♦ El sistema de pirólisis se usa para la producción de carbón vegetal a partir de madera, de coque y gas de coquización a partir de carbón y de gas combustible y betún a partir de fracciones pesadas de petróleo

6.4 SISTEMAS DE GASIFICACIÓN. La gasificación es el proceso de combustión parcial en el que un combustible es quemado a propósito con menos aire que el estequiométrico. Se sostienen sin aportes externos y usan aire u oxígeno para la combustión parcial. Son sistemas extremadamente exotérmicos.

La gasificación es una técnica energéticamente eficaz para reducir el volumen de los residuos sólidos y recuperar energía. Esencialmente el proceso implica la combustión parcial de combustible carbonoso para generar un combustible rico en gas con altos contenidos de monóxido de carbono, hidrógeno y algunos hidrocarburos saturados, principalmente metano. El gas combustible puede quemarse en un motor de combustión interna, turbina de gas o caldera en condiciones de oxígeno adicional.

Durante el proceso de gasificación se producen cinco reacciones principales:



6.5 HIDROGENACIÓN. La hidrogenación de la celulosa de los residuos orgánicos con CO y agua a elevadas temperaturas de hasta 400°C y presiones de 300 atmósferas, permite con la ayuda de catalizadores transformarla en productos orgánicos combustibles. Se pueden obtener hasta 350 litros de aceites ligeros por tonelada de residuos.

6.6 HIDRÓLISIS. La hidrólisis transforma los residuos de celulosa en azúcares fermentables al utilizar algunos ácidos a temperatura elevada. De los azúcares obtenidos se puede extraer alcohol etílico, ácido cítrico y otros productos fertilizantes.

6.7 TENDENCIAS EUROPEAS EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE RSU (Whiting, K.J. and Schwager, F.J., 1997). Por 30 años, virtualmente toda la combustión de los residuos sólidos municipales en Europa ha sido llevada a cabo en incineradoras de parrilla móvil. Durante la década de los 90, se incrementó el interés en otras tecnologías – incluyendo combustión en lecho fluidizado, pirólisis y gasificación –.

Hay tres razones principales para este incremento de interés:

- Ventajas técnicas percibidas (reales o no).
- Mejor aceptación pública y política de las más nuevas y más sofisticadas tecnologías que no sufrieron la imagen negativa de la incineración.
- Esfuerzos mercantiles de los fabricantes y vendedores de equipo.

Europa produce anualmente 133 millones de toneladas de residuos sólidos domésticos, 324 millones de toneladas de residuos industriales y 30 millones de residuos peligrosos. Actualmente, solamente el 19 % de los residuos sólidos municipales es incinerado. Esto se lleva a cabo en plantas modernas, ya que la mayoría de las plantas antiguas han sido cerradas a fines de 1996, por no haber cumplido con los requisitos de emisiones al aire de la Unión Europea y de sus propios países. La Tabla VI.1 muestra el nivel de residuos sólidos municipales producidos e incinerados en la Europa occidental.

Alrededor del 60 % de RSU es todavía enviado a los tiraderos o rellenos sanitarios, así como los residuos sólidos de la mayoría de las incineradoras. El mayor reto de las naciones europeas para los próximos 10 ó 15 años será el reemplazo de la confianza de los rellenos por opciones de disposición más sostenibles.

Tabla VI.1. Incineración de RSU en países desarrollados

PAÍS	Población (millones)	RSU (10 ⁶ ton/año)	No. de incineradoras	% de RSU incinerados
SUIZA	7	2.9	29	79
JAPÓN	123	44.5	1,893	72
DINAMARCA	5	2.6	32	65
SUECIA	9	2.7	21	59
FRANCIA	56	18.5	100	41
HOLANDA	15	7.1	9	39
ALEMANIA	61	40.5	51	22
ITALIA	58	15.6	51	17
EUA	148	180.0	168	16
ESPAÑA	38	11.8	21	6
REINO UNIDO	57	35.0	7	5

Fuente: Whiting, K.J. y Schwager, F.J., 1997.

La combustión en lecho fluidizado, en particular, está siendo re-evaluado en Francia y Reino Unido para la disposición de los RSU. Históricamente, el problema de usar este método, más que la combustión clásica con parrillas móviles, ha sido la variabilidad de la corriente de entrada, causada por la gran variación del tipo y tamaño de los materiales presentes en los RSU. El incremento del reciclaje y las instalaciones para la recuperación de materiales está reduciendo este problema. Varias compañías escandinavas y japonesas han estado comercializando los sistemas de lecho fluidizado en las municipalidades de Europa.

Fernández, J., Baldasano, J.M. y Gassó, S., 1998 aplicaron la gasificación en lecho fluidizado al tratamiento de residuos sólidos con alto valor calorífico, específicamente la fracción combustible de los RSU compuesta por papel, cartón, plásticos (PET, PVC), denominado CDR (combustible derivado de los residuos). La instalación experimental consiste de un gasificador de inyección de aire que opera a presión atmosférica con capacidad de 50 kg/h. Los resultados que obtuvieron muestran que la gasificación de CDR permite producir un gas con un valor calorífico alto y recuperar más del 80 % de la energía calorífica de los desechos en el gas frío. El residuo sólido producido en el proceso de gasificación es menos del 10 % del material inicial.

La gasificación y la pirólisis también han ganado aceptación, especialmente en Alemania y Suiza. Esto debido a la influencia de las fuerzas directrices, particularmente el empuje de la legislación para el reciclaje y la reutilización de los residuos sólidos de las incineradoras.

Otra tecnología que ha estado probándose en Japón (Katou, K. Y Sameshima, R., 1997) es la fundición plasma. Los residuos de las incineradoras contienen pequeñas cantidades de metales pesados, como el plomo y el cadmio, se ha pensado en el sistema de fundición de alta temperatura (entre 4,000 y 10,000°K). Es un método efectivo de eliminación de tóxicos y reducción de peso y volumen y la escoria puede aplicarse como material agregado en construcción.

Plasma es llamado el cuarto estado de la materia, se alcanza cuando las moléculas del gas se disocian en átomos, los cuales están entonces excitados e ionizados, conteniendo cantidades similares de cargas eléctricas positivas y negativas.

La tecnología del plasma permite tratar cualquier tipo de residuo, desde los urbanos y asimilables a urbanos (en masa o seleccionados), a hospitalarios e industriales. El gas de síntesis formado básicamente por hidrógeno y monóxido de carbono. Este gas puede utilizarse para generar energía en una turbina de gas o para producir metanol o etanol para la industria química. En la actualidad se ha aplicado principalmente para la eliminación de los residuos de alta peligrosidad, tales como lodos orgánicos o inorgánicos, residuos clorados o con altas concentraciones de metales pesados. Como inconvenientes de esta tecnología podrían citarse la gran incertidumbre que existe sobre los costos totales por kg procesado y sobre la fiabilidad de la tecnología. Por el contrario, tiene la ventaja de que no genera residuos sólidos ni líquidos y que minimiza las emisiones gaseosas (Martínez O. C., 1998).

6.8 LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA INCINERACIÓN (Nilsson, K. 1997). En los últimos 10 años los requerimientos de emisiones para las plantas de incineración han sido significativamente reducidos. Como resultado de ello, prácticamente no se emiten contaminantes de las plantas bien operadas con control avanzado de limpieza de gases. Esto se ha alcanzado por las elevadas inversiones y los costos de operación. Los contaminantes peligrosos se encuentran concentrados en los residuos. En particular, las cenizas fugaces y los productos de la limpieza contienen cantidades significativas de compuestos peligrosos, tales como metales pesados, dioxinas, sales, etc. Las cenizas fugaces tienen además una densidad baja y a menudo niveles altos de orgánicos de carbón no quemados.

La práctica predominante para el manejo de las cenizas ha sido, y todavía es, la disposición en rellenos, ya sea mezcladas con otros residuos o monovertidas. En el futuro, el depósito en rellenos sanitarios o el almacenamiento prolongado debería ser aceptado como una alternativa para las prácticas de tratamiento avanzado si las condiciones encuentran requerimientos estrictos.

Sin embargo, hay una preocupación creciente acerca de las consecuencias ambientales de la disposición de las cenizas, especialmente el riesgo de lixiviados a largo plazo. Los estándares tan estrictos sobre las emisiones gaseosas han estado seguidos también por requerimientos igualmente estrictos sobre el control de los residuos. Muchos países no aceptarían la disposición de residuos a menos que sean propiamente tratados.

Un problema obvio con muchos de los métodos de tratamiento de cenizas son los altos costos de inversión y de operación.

Los procesos disponibles de interés para el tratamiento de residuos de la incineración de residuos pueden clasificarse como sigue:

- *Separación.* Es el cribado y separación de las cenizas del fondo para extraer metales, especialmente ferrosos, para reciclaje y entonces las cenizas separadas pueden usarse para aplicaciones de construcción. También la extracción química de componentes es una posibilidad del método de separación, mediante el cual, por lavado de las cenizas se eliminan sales y ácidos solubles.
- *Solidificación y Estabilización.* La solidificación es un proceso físico para encapsular los residuos con un material de ligue. La estabilización es un proceso químico para transformar los contaminantes solubles en una forma menos soluble al añadir ciertos reactivos. Estos dos procesos son normalmente combinados para alcanzar tan buenos resultados como sea posible para reducir los lixiviados de los compuestos peligrosos.
- *Estabilización térmica.* El tratamiento térmico implica fundición de los residuos a temperaturas elevadas (1,200 a 1,500°C). Dependiendo del método, el producto resultante es una masa homogénea vítrea (vitrificación) o una escoria con densidad alta (fusión). Las ventajas del proceso son la transformación de las cenizas en un vidrio muy estable, destrucción rápida de dioxinas y otros compuestos orgánicos peligrosos, reducción del volumen y posibilidades de recuperación de los metales.

Para obtener los resultados deseados, a menudo se combinan dos o tres procesos, tal como estabilización y solidificación.

6.9 PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE RECUPERADO. La utilización de residuos como combustible en plantas cementeras y otras instalaciones no convencionales no es nueva. De hecho, existen importantes flujos de residuos utilizados con este fin:

- Residuos industriales (como disolventes no halogenados, aceites usados, residuos plásticos, etc.)
- Residuos municipales (papel y cartón, plásticos de origen industrial, agrícola y recogidos selectivamente, etc.)
- Lodos de depuradora.
- Neumáticos usados, etc.

Sin embargo, en los últimos años se ha desarrollado un nuevo concepto, el combustible recuperado, que introduce elementos nuevos en la consideración de este asunto.

Combustible recuperado es un producto con características específicas como combustible. Se produce a partir de residuos combustibles seleccionados, no peligrosos. Se presentan normalmente sueltos, en forma de pellets o pulverizados. Su utilización principal es en procesos de incineración.

En este marco existe un estudio en la UE cuyo objetivo es la recuperación de energía y combustible procedente de residuos combustibles no peligrosos (Martínez O. C., 1998).

Los lodos como combustible. Desde el 1 de Julio de 1998 la legislación de Bélgica prohibió la disposición final de lodos de aguas residuales o de origen animal, tanto en el relleno sanitario como en el campo para uso agrícola. La solución por la que ha optado una empresa belga (Seghers) para eliminar las grandes cantidades de lodo que se generan en ese país, es el secado previo y conversión en pellet, para su posterior uso como combustible. El sistema ideado por Seghers tiene un bajo consumo de energía y no produce emisiones de ningún tipo. El mayor de estos secadores lo ha instalado en Baltimore donde tiene una capacidad de secado de 12,000 kg/h. En Barcelona funciona el primer secador de España, construido por la misma empresa (Revista RESIDUOS 43).

INDAVER, una compañía incineradora de residuos urbanos e industriales de Amberes ha instalado una planta de Seghers que se diferencia de otros hornos por los movimientos a los que somete los residuos para lograr una mejor combustión, ya que el lecho está compuesto de una serie de placas que pueden desplazarse hacia delante y hacia arriba. El horno por su

especial diseño, tiene tres zonas diferenciadas, una de secado de residuos, otra zona de gasificación y combustión de residuos, y una zona de enfriamiento.

La planta de INDAVER, además de incinerar residuos urbanos e industriales, recupera metales pesados, como el mercurio de los tubos fluorescentes, de las pilas botón, y termómetros; recupera disolventes (8,000 Ton/año); realiza tratamientos físico-químicos de residuos industriales (20,000 Ton/año); así como de solidificación e inertización de metales pesados (40,000 Ton/año). También puede tratar hidrocarburos clorados y PCBs en un horno estático con temperaturas por encima de 1,200°C.

VII. DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.

7.1 RELLENOS SANITARIOS. La técnica de eliminación de RSU más generalizada en Europa y Norteamérica es la de relleno sanitario que permite una eliminación final y completa de los residuos con la posibilidad de implantación de técnicas de reciclaje complementarias en la zona del relleno sanitario.

La eliminación de los RSU deberá llevarse a cabo evitando toda influencia perjudicial para el suelo, vegetación y fauna, la degradación del paisaje, las contaminaciones del aire y las aguas y, en general, todo lo que pueda atentar contra el ser humano o el medio ambiente que le rodea.

Aunque sólo fuera por su simplicidad, lo cual constituye una de sus ventajas, el relleno sanitario no admite los actos improvisados. Debe contemplarse como una obra de ingeniería sanitaria que exige un proyecto concreto que permita la selección apropiada de las soluciones más idóneas y una explotación racional y un adecuado control.

Los residuos sólidos urbanos más usuales que se pueden tratar en un relleno sanitario son:

Como disposición normal:

- Domiciliarios
- Comerciales (cartón, papel, etc.)
- De establecimientos mercantiles
- Procedentes de limpieza viaria, zonas verdes y zonas recreativas (tierras, papeles, hojas, ramas, etc.)
- Muebles y enseres inútiles (lavadoras, frigoríficos, etc.)
- De construcción y obras menores de reparación domiciliaria (escombros)
- Industriales asimilables a los domiciliarios (residuos de comedor, limpieza de oficinas, etc.)
- Industriales inertes, no inflamables (arenas, cascarillas, etc.)

Como disposición especial:

- Hospitalarios, sólo cuando no sea posible su tratamiento específico
- Alimentos decomisados en malas condiciones
- Procedentes de mataderos
- Animales muertos

- Lodos procedentes de plantas depuradoras de aguas residuales que no sean tóxicos ni peligrosos
- Lodos procedentes de plantas potabilizadoras

Muy a menudo los rellenos sanitarios sostenibles se describen en términos de técnicas operacionales (relleno bioreactor o depósito hermético para aguas pretratadas) más que como la meta más apropiada de gestión tal que el riesgo ambiental sea aceptable. La técnica que alcance el relleno sanitario de más bajo riesgo variará de acuerdo al número de factores, incluyendo, la composición de los residuos, el clima y la geohidrología locales, y variará de país en país, de región a región y de sitio a sitio. Un relleno verdaderamente sostenible es aquel en el que los materiales residuales son asimilados seguramente en el ambiente circundante, hayan o no hayan recibido tratamiento biológico, térmico o de otro tipo, y se hayan gestionado los problemas relacionados con el biogas para minimizar el impacto ambiental. Esto es alcanzado probablemente en los rellenos sanitarios, pero hay que reconocer que la falla del impermeabilizante ocurrirá al final de cuentas, y que a largo plazo, es inevitable la fuga de los materiales residuales y sus productos de degradación. La selección del sitio, el diseño y manejo apropiados son cruciales para el logro de una gestión más sostenible de los residuos (Westlake, K., 1997).

7.2 LA PRÁCTICA INGENIERÍL ACTUAL. De acuerdo a Carra, J. y Cossu, R., (1990), la operación de los rellenos no ha cambiado significativamente durante décadas. El único cambio ha sido el uso de la compactación para incrementar la densidad, lo cual también ha reducido los incendios, menos basura volante y menos roedores en los rellenos.

En años recientes, sin embargo, han sido iniciados o revigorizados importantes programas de investigación en varios aspectos del diseño y operación de los rellenos sanitarios. Por ejemplo, en Suecia se ha efectuado investigación sobre la codisposición de cenizas de incineradoras con residuos domésticos y sobre mejorar la caracterización del lixiviado y sobre las tecnologías de tratamiento de lixiviados. En Italia el trabajo se está haciendo sobre la codisposición efectiva de ciertos residuos tóxicos con RSU. Varios países tales como Alemania y los EUA están desarrollando trabajos sobre las formas de controlar la calidad del lixiviado e incrementar la producción del gas. En el Reino Unido la investigación se está llevando a cabo sobre la codisposición de residuos líquidos en basureros viejos.

La investigación indica que todas las fases de la actividad biológica en un relleno pueden controlarse mediante el diseño y la gestión activa. Las fases pueden reducirse o prolongarse con la adición controlada de residuos composteados, buffers, nutrientes y humedad. El

estímulo de los procesos anaerobios con estas técnicas de control puede resultar en estabilización y asentamientos anticipados del relleno, emisiones reducidas de lixiviados y mejor producción del gas (Carra, J. y Cossu, R., 1990).

Se ha vuelto práctica común la operación de los rellenos bajo el principio de contención total, aunque es generalmente reconocido que las cubiertas impermeabilizantes tienen fugas. Después de todo, tienen una permeabilidad muy baja.

Muchas regulaciones, reconociendo que los impermeabilizantes plásticos se fugan, ahora se refieren a impermeabilizantes compuestos (minerales y sintéticos usados juntos). Los sistemas de drenaje se instalan inmediatamente arriba del plástico, en teoría para facilitar la remoción del lixiviado. Estos pueden tomar la forma de una malla entera de drenes.

Lo que está bastante claro es que actualmente los rellenos sanitarios se han convertido en construcciones ingenieriles sofisticadas. Son aplicados los mejores principios de ingeniería durante el ciclo del relleno, desde la preparación del sitio hasta las prácticas operacionales y la clausura del mismo.

A pesar de que muchos consideran que se aplican las mejor prácticas, los rellenos sanitarios del mañana serán probablemente muy diferentes a los que se conocen hoy. Las áreas que seguramente promoverán el cambio son: percepción y actitudes ciudadanas, sostenibilidad, prácticas operacionales y legislación nacional e internacional (Greedy, D.R., 1996).

En los países en desarrollo, la disponibilidad de medidas de control ambiental para rellenos sanitarios es un aspecto clave. Idealmente, los objetivos de disposición final en los países en desarrollo deberían corresponder con los objetivos de los países desarrollados. También, los objetivos para el servicio de disposición final en grandes ciudades deberían ser aplicados a las pequeñas ciudades. Sin embargo, las comunidades de pueblos y villas pequeñas de los países en desarrollo usualmente no pueden enfrentar la aplicación de los mismos estándares que los de las grandes ciudades. Blight, G. E. (1996), explora tres factores que pueden ser usados para clasificar los basureros, con el fin de ir aplicando gradualmente los estándares de una manera racional. Estos factores son: 1) El tipo de residuos; 2) El tamaño del basurero; y 3) Las condiciones climáticas del sitio. En suma hay otros tantos factores y condiciones que necesitan considerarse, por ejemplo, las condiciones geológicas y geohidrológicas en cada sitio específico. La clasificación es apta para utilizarse en los países en desarrollo, pero puede también ser útil para los países desarrollados.

7.3 DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEPOSITADOS. Los residuos sólidos depositados en un basurero se degradan química y biológicamente produciendo compuestos sólidos, líquidos y gaseosos. Los metales ferrosos y no ferrosos son oxidados; los desechos orgánicos e inorgánicos son utilizados por los microorganismos por medio de síntesis aerobia y anaerobia. Los productos líquidos de la degradación microbiana, tales como ácidos orgánicos, incrementan la actividad química en el basurero. Los residuos de alimentos se degradan rápidamente, mientras que otros materiales, como los plásticos, hules, vidrio y algunos residuos de demolición, son altamente resistentes a la descomposición.

Algunos factores que afectan la degradación son el carácter heterogéneo de los residuos, sus propiedades físicas, químicas y biológicas, la disponibilidad de oxígeno y humedad en el basurero, la temperatura, las poblaciones microbiológicas y el tipo de síntesis. Debido a que usualmente los desechos sólidos forman una masa muy heterogénea de tamaño no uniforme y composición variable, y otros factores complejos, variables y difíciles de controlar, no es posible predecir con exactitud las cantidades de contaminantes y las tasas de producción.

La actividad biológica en un basurero generalmente sigue un grupo de patrones. Los residuos sólidos, inicialmente se descomponen aeróbicamente, pero como el oxígeno se agota, los microorganismos facultativos y anaerobios predominan y producen metano, el cual es inodoro e incoloro. Debido a la actividad microbiana las temperaturas se elevan al rango alto mesofílico y bajo termofílico (15° a 65°C).

Los productos característicos de la descomposición aerobia de los residuos son el dióxido de carbono, agua y nitratos. Los productos típicos de la descomposición anaerobia de los residuos son el metano, dióxido de carbono, agua, ácidos orgánicos, nitrógeno, amoníaco y sulfuros de hierro, manganeso y de hidrógeno.

Las reacciones de la materia sólida depositada pueden ser agrupadas bajo las denominaciones:

- ❖ Envejecimiento.
- ❖ Desintegración.
- ❖ Lixiviación.

El envejecimiento engloba todos los procesos que se desarrollan principalmente sin aire con la correspondiente humedad del material (reacciones anaeróbicas).

La desintegración pertenece a los procesos aerobios que transcurren bajo la influencia de la atmósfera, o sea del oxígeno del aire, reacciones biológicas aeróbicas, que también se conocen bajo los términos de fermentación y putrefacción. También cabe asignar a este término reacciones puramente físicas. Por consiguiente engloba el conjunto de reacciones físicas, químicas y biológicas que tienen lugar desde la superficie superior al basurero. Mientras que el envejecimiento conduce a la solidificación y hace al material depositado insoluble, la desintegración esponja y hace soluble lo depositado.

FENÓMENOS	FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS		FÍSICOS
PROCESO DE	ENVEJECIMIENTO	DESINTEGRACIÓN	LIXIVIACIÓN
REQUISITOS PREVIOS	<ul style="list-style-type: none"> Sin influencia atmosférica Humedad de la materia almacenada 	<ul style="list-style-type: none"> Influencia atmosférica 	<ul style="list-style-type: none"> Influencia de la lluvia y de la permeabilidad del terreno
CONSECUENCIAS	<ul style="list-style-type: none"> Solidificación Indisolubilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Esponjamiento Solubilización 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento de permeabilidad, polución y salinidad del subsuelo
	Procesos marginales de compactación y cristalización en el área		

Fig. 7.1 Fenómenos característicos de un basurero de residuos sólidos

La lixiviación es un fenómeno físico que se reduce con una mayor compactación de RSU y depende del grado de envejecimiento, de la desintegración y de la pluviosidad de la zona.

Una característica típica del lixiviado es una concentración muy alta de DBO y DQO.

7.4 OPERACIONES EN UN RELLENO SANITARIO. Los tipos de rellenos sanitarios respecto al residuo son:

- Con trituración previa al depósito.
- Con compactación de baja, media o alta densidad en la zona de depósito.

Y atendiendo al terreno:

- Disposición en superficie o áreas.
- Disposición en trincheras o zanjas.

Las operaciones principales de un relleno sanitario son:

- Colocación del residuo en la zona de trabajo.
- Extensión de los residuos.
- Compactación de los residuos.
- Recubrimiento con material inerte que se extiende y compacta sobre los residuos (salvo en el caso de alta densidad).

El conjunto de los residuos o capa y el material de recubrimiento se llama celda, que es la unidad de trabajo diario. Una serie de celdas juntas en el mismo nivel forman una terraza. La altura de la celda es variable y es función del tipo de compactación.

Relleno sanitario con trituración previa al depósito. El basurero con trituración previa con molinos estacionarios está básicamente dirigido al aprovechamiento selectivo de algunos productos (es, por tanto, potencialmente una planta de reciclaje parcial para el futuro) y a favorecer la aireación de la capa de depósito para conseguir, en el máximo grado posible, una fermentación aerobia que elimine los malos olores típicos de la fermentación anaerobia.

La trituración del residuo reduce su volumen, por lo que aumenta la vida del basurero.

Relleno sanitario con compactación en la zona de depósito. Tres son las formas de operación en un relleno sanitario con compactación en la zona de depósito: compactación de baja densidad con recubrimiento, compactación de media densidad con recubrimiento y compactación de alta densidad sin recubrimiento.

- ❖ Compactación de baja densidad. El residuo descargado es esparcido por una pala cargadora que produce un desgarro y una compactación débil llegando a 500 kg/m^3 , cubriéndose con una capa de 15 cm de tierra diariamente.

Las características principales de este tipo de basurero son:

- La baja densidad no retrasa la fermentación anaerobia, por lo que se generan gases hidrocarburos de mal olor que buscan la salida por los caminos más impensados o forman bolsas con riesgo de socavones y explosiones. Sin embargo, tecnologías actuales permiten la eliminación o recuperación de este gas.
- Los vehículos no pueden entrar en la zona de depósito, con lo que el trabajo de colocar el residuo en la celda exige mayor tiempo.
- La altura de la celda de residuos no es inferior a 1.5 m ni superior a 2.5 m.

- El agua de lluvia filtra con facilidad, incrementando el problema de los lixiviados.
- ❖ Compactación de media densidad. Este sistema precisa maquinaria especializada para compactación, llegando a densidades del orden de 800 kg/m^3 . Los costos de implantación son muy similares a los del sistema de baja densidad, excepto por el mayor importe de la maquinaria, pues el resto de condiciones deberían ser idénticas. Indudablemente se consiguen condiciones higiénico–sanitarias superiores a las de baja densidad.

Las características del sistema son:

- Recubrimiento preciso diario, con una capa de material de recubrimiento de 15 a 20 cm.
- Provoca la fermentación anaerobia, si bien la retrasa al aumentar la densidad. Atenúa el problema de olores, y con una buena explotación prácticamente desaparecen.
- Permite el paso de vehículos por el basurero pero con dificultades.
- Tiene un consumo de combustible 30 % inferior al sistema de compactación de alta densidad, pero incrementa los costos por recubrimiento.
- La maquinaria puede trabajar bien a razón de 20 a 35 Ton/h.
- Los problemas de filtración de agua de lluvia son intermedios entre los sistemas de baja y alta densidad.
- ❖ Compactación de alta densidad. El sistema consiste en provocar una trituración y una compactación simultáneas que permitan al mismo tiempo los beneficios de una fermentación aerobia (con elevación de temperatura y eliminación de olores) y una compactación de alta densidad del orden de $1,100 \text{ kg/m}^3$.

Las características principales de este sistema son:

- No precisa recubrimiento por la necesidad de conseguir una fermentación aerobia.
- Maquinaria muy específica, cuyo peso, distribución de dientes y sistemas de limpieza de los mismos permita asegurar la trituración efectiva y la compactación posterior.
- Se extiende y compacta el RSU en una capa de 15 a 30 cm, lo que exige una superficie bastante extensa, que favorece la evaporación, lo que unido a las temperaturas alcanzadas permite reducir los lixiviados.

- Es necesario disponer de tres áreas de explotación en fase de: depósito, fermentación y mineralización, no pudiéndose cubrir el RSU con otra capa, hasta haber concluido el proceso de estas fases cuya duración se estima de 1 a 2 meses.
- El consumo de combustible de la máquina es sensiblemente superior al de media densidad por las características de la maquina y del sistema de explotación y la capacidad máxima de tratamiento por hora de funcionamiento se estima de 15 a 25 Ton de residuos por hora.

Disposición en superficie o áreas. Es el método más usado. Los residuos se extienden y compactan, siendo cubiertos por un material inerte (arcilla, escoria, etc.).

Para simplificar la explotación del basurero es conveniente conseguir una plataforma adecuada de descarga del residuo de los vehículos de recolección, con un buen firme, para evitar atascamientos y para disponer de suficiente espacio para maniobras.

El material de recubrimiento debe ser apilado en una zona de fácil acceso y no lejos del frente del depósito con una capacidad suficiente para una semana de cobertura, facilitando así, ante posibles inconvenientes climáticos o de acopio, la explotación.

Disposición en trincheras o zanjas. En este método, se excava una zanja, las basuras se vierten dentro de ella, se extienden y compactan, y el material de recubrimiento es el propio material excavado. Una vez recubiertas las basuras, se compacta nuevamente. La celda formada coincide con la zanja excavada.

Este sistema se suele combinar con el de superficie o área, con compactación de baja o media densidad.

7.5 RECUPERACIÓN DE ENERGÍA. El gas metano producido durante los procesos de degradación orgánica en los basureros puede ser un combustible de unidades de generación eléctrica que posteriormente puede emplearse con fines domésticos. El uso de este combustible es una actividad que aprovecha un producto de los residuos y ahorra el consumo de otras fuentes de energía.

El alto contenido de dióxido de carbono en los gases de basurero debe eliminarse para alcanzar una calidad conveniente para la combustión. El dióxido de carbono y otros contaminantes se remueven mediante procesos de absorción.

7.6 VISIÓN FUTURA DE LOS RELLENOS SANITARIOS. A pesar de que la práctica de disponer los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios es, por ahora, la solución más

generalizada para atender la problemática que representan, la legislación está siendo cada vez más exigente, conduciendo las iniciativas públicas y privadas a la valorización de los residuos.

Con ello, el futuro se presenta con tendencia a la minimización de los residuos depositados. Dicha tendencia se apoya en la baja disponibilidad de suelo para la construcción de rellenos sanitarios, así como la cada vez más costosa tecnología para la impermeabilización de los mismos, para el tratamiento de los lixiviados y para el control del biogas.

El método de eliminación de residuos sólidos en relleno sanitario es, por lo tanto, un método que, sin llegar a desaparecer, llegará a convertirse en la última alternativa utilizada en los sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos.

7.7 GESTIÓN DEL LIXIVIADO. De acuerdo a Carra, J. y Cossu, R. (1990) los avances más relevantes de la investigación para la gestión de lixiviados, reportados en un estudio de 11 países europeos, 2 de Norte América, 1 de Asia y 1 de Africa, se pueden resumir como sigue:

- ⊙ *Cantidad de lixiviados.* Para propósitos de diseño las cantidades esperadas de lixiviados no son fácilmente predecibles sobre bases empíricas. Los modelos predictivos ahora están disponibles, pero no pueden ser generalizados. En particular, las variaciones de humedad en los residuos y su capacidad de absorción necesitan más estudios en entradas y producción de lixiviados. Se requiere la validación de los modelos. Pueden obtenerse resultados aceptables calibrando los modelos a las características locales. La producción de lixiviados no puede evitarse pero puede minimizarse (por ejemplo, por evaporación natural).
- ⊙ *Calidad del lixiviado.* Las prácticas de gestión afectan grandemente la calidad del lixiviado; son necesarios el control y aceleración de las fases ácidas para obtener bajas concentraciones de materia orgánica y metales pesados en el lixiviado. Las sugerencias son: implantación de un fondo de compost con un pretratamiento aeróbico; niveles bajos de sobreposición de residuos; control de la humedad (por ejemplo, por recirculación del lixiviado). Estas medidas deben aplicarse en combinación. Sin embargo, poco puede hacerse para disminuir los niveles de nitrógeno; el nitrógeno junto con las trazas de orgánicos halogenados (AOX) permanece todavía como los contaminantes más difíciles.
- ⊙ *Impermeabilización.* La impermeabilización artificial no debe aplicarse sola, sino combinada con otros impermeabilizantes inertes naturales, principalmente porque no ha

sido probada todavía la efectividad a largo plazo. Se requieren pruebas geotécnicas de laboratorio y de campo después de su colocación. Se sugiere un grosor mínimo para reducir los riesgos de alteraciones causadas por el lixiviado sobre los materiales arcillosos.

- *Drenaje y colección de lixiviados.* Los sistemas de drenaje de piedras deben ser de grava uniforme muy gruesa. Los problemas de obstrucción son causados por fenómenos químicos y biológicos (precipitación del hierro y crecimiento de limo y biomasa, etc.). Los criterios de diseño para la tubería pueden establecerse: tubo con diámetro mínimo de 20 cm, tuberías rectas, espacio adecuado para el drenaje, acorde a la pendiente, pero de cualquier manera no mas de 50 m. Si se observan estos criterios debe ser posible el mantenimiento y la inspección con cámara de televisión.
- *Tratamiento del lixiviado.* Para la gestión efectiva del lixiviado se requieren unidades simples, confiables y robustas. Las lagunas son apropiadas para la remoción de orgánicos, especialmente si el pretratamiento anaeróbico es seguido por sistemas aeróbicos o aireados. Se ha probado el tratamiento biológico intensivo de lixiviados, pero las aplicaciones a escala real no son tan numerosas. Sin embargo todos estos sistemas no eliminan satisfactoriamente el nitrógeno amoniacal. Se han empleado satisfactoriamente agentes biológicos rotativos para la nitrificación. Los procesos físico-químicos (tales como floculación y adsorción, ósmosis inversa) pueden ser aptos para lixiviados débiles. La ósmosis inversa puede también utilizarse para remover nitrógeno amoniacal y AOX, pero no se ha encontrado solución para la disposición del concentrado. Así en los sistemas de evaporación se debe tener cuidado para la disposición de la fase concentrada. La inertización o la fijación en una matriz sólida puede ser necesaria para controlar los contaminantes difíciles. Debe remarcarse que los tratamientos biológicos no son por si solos suficientes para alcanzar los estándares del agua superficial, especialmente para lixiviados viejos. Deben realizarse, por lo tanto, más estudios para evaluar la factibilidad, eficiencia y confiabilidad de los tratamientos físico-químicos.
- *Recirculación del lixiviado.* Muchos experimentos han demostrado que la recirculación puede representar un pretratamiento efectivo para los lixiviados, aunque este método por si solo no es suficiente para obtener mejoría cualitativa considerable. Además con la recirculación, los volúmenes de lixiviado pueden reducirse dramáticamente por evaporación cuando se usa infiltración superficial. Los resultados mejoran al aplicar irrigación atomizada.

Actualmente los procesos para el tratamiento de lixiviados de rellenos (Held, A., 1997) han sido mejorados tecnológicamente y existe un amplio rango de procesos para el tratamiento *on site*. Sin embargo, estas tecnologías posibles son mucho más reducidas, cuando se realiza un análisis detallado de los procesos.

Para la depuración de los lixiviados se aplican, en la mayoría de los casos, combinaciones de procesos. Hay que distinguir, principalmente, entre procesos que transforman gran parte de las sustancias contaminantes en otras sustancias inocuas (CO_2 , N_2 , H_2O), y procesos que separan los lixiviados en un caudal depurado y un concentrado.

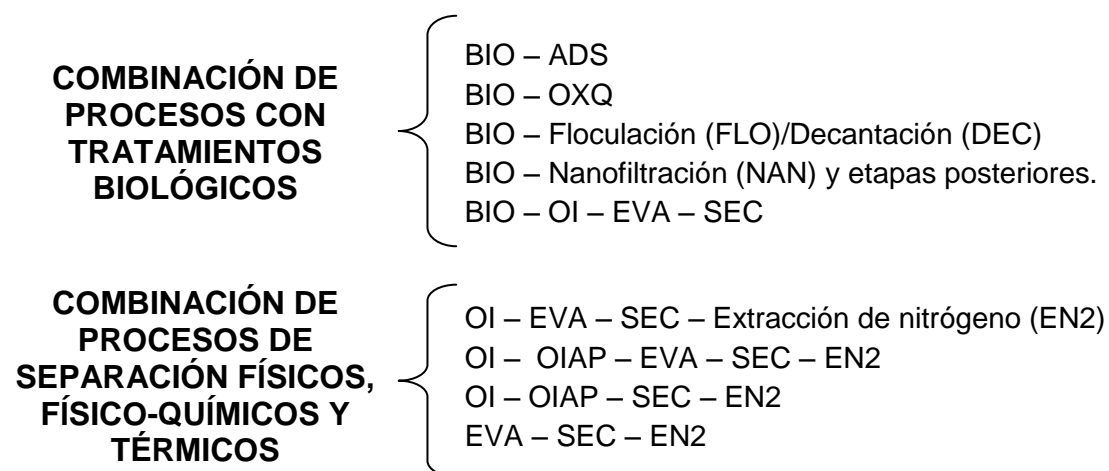
- **Eliminación de contaminantes:**

- Biológicos (BIO): Tratamientos biológicos con separación de fangos.
- Oxidación química (OXQ): El agente oxidante más común es el ozono.
- Adsorción mediante carbón activado granular (ADS).

- **Separación de sustancias contaminantes:**

- Separación con membranas (Ósmosis inversa: OI y OI de alta presión: OIAP).
- Evaporación (EVA).
- Secado (SEC).
- Adsorción.

De acuerdo a Held, A. (1997) se presentan a continuación algunos de las combinaciones de procesos *on site* más interesantes cuando se requiere una calidad alta del efluente final:



**COMBINACIONES CON
RECIRCULACIÓN DE
CONCENTRADOS AL
BASURERO**

BIO – NAN – Recirculación al basurero (RV)
BIO – OI – RV
OI – RV
OI – OIAP – RV
EVA – RV

La combinación BIO – ADS mediante carbón activado granular es una tecnología sencilla y robusta. Cuando es posible la reactivación térmica del carbón saturado, las pérdidas de carbón por la reactivación son muy reducidas. Así, la instalación de una etapa para la reducción de la fracción no-biodegradable del lixiviado mediante el carbón activo, es una solución realmente ecológica.

Otra posibilidad de reducir la fracción no-biodegradable es la oxidación química (OXQ) mediante ozono. Con el fin de reducir el consumo de ozono, se han desarrollado procesos que incluyen una recirculación interna del oxígeno. Esta tecnología exige una pureza muy alta del gas reciclado para proteger el generador de ozono. Dificultades con concentraciones elevadas de sustancias contaminantes en el flujo reciclado han provocado problemas técnicos, por lo que la mayoría de los fabricantes han dejado de seguir esta línea.

La radiación con luz UV para reducir el tiempo de retención en los reactores aumenta simultáneamente el consumo energético del tratamiento. Como consecuencia se han desarrollado instalaciones que trabajan con un lecho fijo sin luz UV, las cuales dan resultados favorables. Gracias a la posibilidad de descontaminar los lixiviados in situ sin producción de residuos, la oxidación química puede ser una alternativa a la adsorción mediante carbón activado, sobre todo de cara al futuro si se logra reducir más el consumo energético de los generadores de ozono, que todavía sigue siendo alto.

La cadena de procesos floculación/decantación mediante carbón activado en polvo en combinación con un tratamiento biológico es una de las más antiguas en el campo del tratamiento de lixiviados. Debido a que la regeneración del carbón activado en polvo no es posible, esta tecnología ya no es una solución interesante desde el punto de vista ecológico y económico. Otro inconveniente fundamental de esta combinación es la demanda muy alta de reactivos químicos, que a su vez aumentan tanto la cantidad como la carga contaminante de los lodos generados, los cuales deberán ser depositados en un basurero de residuos industriales.

La nanofiltración como proceso de separación con membranas en combinación con tratamiento biológico garantiza con mayor seguridad el cumplimiento de los límites de disposición final en España. El punto clave de la nanofiltración lo constituye la posibilidad de desacoplar el tiempo de retención hidráulica del tiempo de retención de las sustancias contaminantes en el reactor biológico. Este procedimiento incluso facilita la descomposición biológica de sustancias orgánicas difícilmente degradables.

En todo caso, al igual que en todas las combinaciones de procesos donde la descontaminación se basa mayormente en el funcionamiento de un tratamiento biológico, no es posible retener sales monovalentes de los lixiviados. Este aspecto es muy importante cuando se limitan las concentraciones de sales en los lixiviados.

La cadena BIO – OI – EVA – SEC es muy compleja y costosa pero siempre garantiza prácticamente cualquier límite de disposición final, incluso cuando las cargas contaminantes de los lixiviados brutos son muy elevadas. Las etapas de ósmosis inversa, evaporación y secado retienen todas las sustancias, incluidas las sales y los metales pesados. El objetivo principal de la etapa biológica es la descomposición biológica de las sustancias orgánicas y del amonio.

Hay que mencionar que no siempre es justificable el gasto adicional que provocan la instalación y explotación de una etapa biológica. Una etapa adicional de OI también es capaz de retener concentraciones muy elevadas de amonio a un costo específico mucho más interesante. Debido al reciente desarrollo tecnológico de los sistemas de separación con membranas, los riesgos de incrustaciones de los módulos de OI son muy reducidos y los grados de fiabilidad y flexibilidad de esta tecnología muy altos.

Los procesos físicos, físico-químicos y térmicos se caracterizan por una etapa de extracción de nitrógeno basada en un proceso físico-químico de desorción que convierte el amonio en un producto aprovechable en forma de agua amoniacal, fosfato amónico o sulfato amónico. Cuando estos productos no tienen salida al mercado, es posible convertir el nitrógeno del amonio en nitrógeno libre mediante oxidación catalítica. Los componentes orgánicos se retienen en un concentrado mediante ósmosis inversa. Con el objetivo de reducir el caudal a secar, se somete este concentrado a una etapa intermedia de evaporación y/o de OIAP. Con excepción del nitrógeno, el producto final del secador contiene todas las sustancias contaminantes y las sales del lixiviado bruto en forma de polvo o pellets.

A pesar de que la separación con membranas es idónea para retener el nitrógeno (amonio/amoniaco) en el concentrado, es necesaria la extracción del mismo cuando se

requiere la eliminación total de los contaminantes contenidos en los lixiviados. En los últimos años se han instalado plantas tanto biológicas (nitrificación/desnitrificación) como de desorción para la extracción del nitrógeno.

La evaporación es un proceso térmico de separación que se aplica desde hace algunos años en el tratamiento de lixiviados. Debido a la composición compleja de los lixiviados, la evaporación de los mismos presenta un gran desafío. Para solucionar los problemas relacionados con las incrustaciones de los intercambiadores de calor se han desarrollado evaporadores de circulación forzada y lecho fluidizado. Actualmente existen instalaciones que trabajan con múltiples efectos a temperaturas muy bajas, lo cual reduce considerablemente el consumo energético y el riesgo de corrosión.

Debido al desarrollo tecnológico en el campo de la separación con membranas, seguramente se sustituirán en el futuro algunos evaporadores por instalaciones de OI, que serán capaces de concentrar el caudal trabajando con presiones muy altas.

En el secado de lixiviados se han aplicado con éxito los secadores de lecho fluidizado y los secadores de capas finas.

El secador de lecho fluidizado produce un residuo seco en forma de pellets con diámetros entre 3 y 7 mm. Debido a que no hay contacto directo entre el lixiviado concentrado y los intercambiadores de calor se evita el problema de las incrustaciones y corrosiones de las superficies de intercambio térmico. A lo largo de los últimos años se han resuelto los problemas técnicos iniciales relacionados con la complejidad de la instalación del secador de lecho fluidizado.

Técnicamente el secador de capas finas parece ser más fiable. Sin embargo, tiene la desventaja de que conlleva la producción de un residuo seco en forma de polvo, lo cual es menos favorable desde un punto de vista de seguridad laboral. Además las exigencias a los materiales aplicados siguen siendo muy elevadas, por lo que hoy en día no se puede decir claramente cuál de las dos variantes es la mejor para el secado de lixiviados.

Las combinaciones con recirculación de concentrados al basurero tienen en común la última etapa de tratamiento. El propio basurero constituye un tratamiento anaerobio de los concentrados procedentes de los procesos físicos y térmicos de separación. En función del tipo de proceso se genera un flujo con un caudal del 10 al 30 % del lixiviado bruto que se conduce al basurero donde se inyecta directamente a la masa de residuos. Este procedimiento es muy común en Holanda, Austria, EUA, Italia, Inglaterra y Alemania desde

hace varios años, además es una vía muy económica para tratar el caudal concentrado. La decisión a favor o en contra de la combinación BIO – OI depende de las características del lixiviado bruto y de las exigencias al concentrado. Desde el punto de vista técnico, esta combinación es justificable en muy pocos casos.

Debido a que la masa de residuos del basurero constituye un reactor biológico anaerobio, este tiene una capacidad importante de depuración anaerobia. Cuando la recirculación de los lixiviados se realiza de forma controlada sobre zonas del basurero con espesores de la capa de residuos superiores a los 3 metros, no se pueden detectar efectos negativos sobre la composición del lixiviado nuevamente generado. Muchos componentes biológicamente degradables que se retienen mediante la separación con membranas o la separación térmica de evaporación se descomponen en el ambiente anaerobio del interior del basurero.

La tarea más importante para la ingeniería y los instaladores de equipos es, sin duda, mejorar las tecnologías actuales con el fin de reducir las inversiones y las demandas energéticas de las instalaciones, simplificar el manejo de las instalaciones y aumentar el grado de disponibilidad y fiabilidad.

7.8 GESTIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS. Hasta la década pasada, el gas de basurero era visto por lo menos como una peste y como un peligro por lo peor. Actualmente, las municipalidades y las compañías de gestión de residuos sólidos han encontrando formas para darle un uso productivo al biogas. La recuperación de la energía del gas de basurero elimina las emisiones contaminantes del aire; previene que el metano de los basureros contribuya al calentamiento global; detiene la migración del metano fuera del basurero convirtiéndose en un peligro seguro o causar problemas de olores; y provee utilidades locales, a la industria y a los consumidores como una fuente competitiva de energía. En otras palabras, las instalaciones para la recuperación de energía del gas de basurero proveen una forma única de reciclaje de los residuos sólidos del basurero, regresándolos al consumidor como energía (Nichols, M., 1996).

La predicción de la producción del biogas es muy difícil, debido a las múltiples etapas de la descomposición bioquímica. Sin embargo el biogas se forma en el rango de 100 a 200 l/kg RSU, dependiendo de la humedad, composición, etc. La tasa de recuperación puede estimarse entre 40 y 70 %, dependiendo del diseño y operación de la extracción y de la cubierta del basurero (Carra, J. y Cossu, R., 1990).

Respecto a la calidad del gas, puede ser necesaria una etapa de purificación del biogas para asegurar la reducción de olores y la toxicidad (especialmente hidrocarburos clorados) y para incrementar los valores caloríficos.

Para la etapa de purificación se han propuesto adsorción con carbón activado, técnicas de varias membranas, filtros moleculares y lavadores para la separación del metano y del dióxido de carbono, así como procesos biológicos e incineración para eliminación de trazas de elementos tóxicos y control de olores.

Respecto a la extracción del gas, han sido conducidos experimentos para determinar la eficiencia de los sistemas de extracción horizontal para implantarlos en rellenos sanitarios profundos.

La extracción forzada del gas es esencial para la buena recuperación del mismo y para un buen control de las emisiones y los olores.

Respecto a la utilización del gas, varios estudios indican que:

- La utilización del gas parece ser redituable alrededor de un año después de que el residuo se ha depositado.
- El periodo de utilización se espera no mayor de 15 a 20 años.
- Los rellenos pequeños son los menos económicos, pero comparados con otras fuentes alternas de energía la utilización del gas puede ser relativamente una buena inversión.

Está bien establecido que el biogas producido por los rellenos y por los digestores de lodos de tratamiento de aguas puede ser un excelente combustible. El biogas está siendo usado en sistemas de calentamiento y en maquinas de gas para generar electricidad; también está siendo purificado al grado de calidad del gas natural. Desde la primera aplicación en 1970s, su utilización ha crecido constantemente, motivada por las presiones ambientales y por los incentivos financieros. Los suministros potenciales son enormes (McCarthy, T.M., 1997).

En los basureros, las regulaciones ambientales requieren que el metano, el principal componente del biogas, no sea liberado a la atmósfera por su potencial de gas de invernadero. En suma, el contenido de metano en el gas le infiere riesgos de incendios y explosiones. Como mínimo debe colectarse y quemarse. Este es un desperdicio de energía potencial, haciendo deseable la utilización del biogas.

La utilización de la energía del biogas para generación de electricidad es ahora el medio más práctico. Ello está fuertemente propiciado por los subsidios gubernamentales de varios países europeos. Estos subsidios soportan el uso de los combustibles no fósiles locales para disminuir el consumo de combustibles fósiles importados y hacer un negocio redituable la generación de electricidad a partir del biogas.

Las investigaciones más recientes sobre la utilización del biogas muestran que existen problemas causados por los componentes traza, cuando el biogas es usado para máquinas de combustión interna. Algunos de estos componentes traza, cuando se queman en una máquina pueden originar corrosión y deterioro.

En su artículo, McCarthy T.M. (1997) provee algunas guías prácticas para anticipar y diagnosticar tales problemas, e indica alguna de las soluciones actuales.

Las emisiones gaseosas de los basureros se relacionan con las condiciones del sitio y los cambios ambientales, todavía no existen suficientes datos en este campo para describir adecuadamente este vínculo. Boltze, U. y de Freitas, M. H. (1997) llevaron a cabo una revisión de varios sitios seleccionados en el Reino Unido y Alemania. Ilustran como incluso los registros continuos son pruebas insuficientes para explicar las emisiones de gas de un basurero. De alguna manera, debe conocerse la estratigrafía de lugar si es que van a usarse significativamente los registros continuos o los registros frecuentes, ya que la estratigrafía del sitio gobierna ampliamente las rutas disponibles para la migración del gas. Es también necesario añadir un registro de historia del sitio al de estratigrafía del sitio y cambio ambiental si van a ser interpretados propiamente los registros de emisiones del gas.

7.9 EXPLOTACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS EN EUROPA Y EUA (Dickinson, W., 1995; Cossu, R.; Hogland, W. y Salerni, E., 1996). La explotación de rellenos es la excavación y tratamiento de los residuos de un relleno activo o inactivo para uno o más de los siguientes propósitos: conservación del espacio del relleno, reducción del área del relleno, eliminación de una fuente potencial de contaminación, mitigación de una fuente existente de contaminación, recuperación de energía de los residuos excavados, reutilización y recuperación de los materiales, reducción de los costos del sistema de gestión de residuos, y redesarrollo del sitio.

La explotación del relleno incluye la excavación, tamizado y separación de los sitios más viejos (generalmente sin cubierta impermeabilizante) en varios componentes incluyendo suelo, reciclables, materiales peligrosos y rechazos. El área recuperada puede ser usada

como un sitio para rellenos sanitarios, para desarrollos comerciales, para propósitos recreativos o para retornarlo a su estado natural.

Los rellenos en EUA han estado desorganizados por una variedad de razones desde varios años atrás, pero ha sido solamente desde finales de los 80s que la reclamación se ha considerado una nueva e innovativa técnica de gestión de rellenos sanitarios.

Actualmente pueden encontrarse alrededor de 40 proyectos de reclamación de rellenos en EUA y Canadá, en diversas etapas de desarrollo. La Asociación de Residuos Sólidos de Norteamérica (SWANA) ha establecido un grupo de trabajo para evaluar la técnica y desarrollar los estándares y prácticas de la reclamación de rellenos sanitarios.

En Europa la primera experiencia se ha llevado a cabo en Alemania, en el relleno sanitario de Burghof, donde ha estado operando desde 1993 una planta demostrativa. Otras operaciones europeas han sido efectuadas en Suecia e Italia.

A medida que las ciudades crecen, los distritos urbanos están mas cerca y más cerca de ellos también están los basureros. La construcción de casas en la cima o cerca de los basureros crea riesgos de explosión debido a la emisión de metano, riesgos para la salud por los gases tóxicos, y asentamientos que pueden causar daños a los edificios. La excavación es una solución al problema de los basureros antiguos de alto riesgo de emisiones para el aire y el agua.

VIII. LA EDUCACIÓN Y LA CONCIENTIZACIÓN AMBIENTAL PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS.

Es conocido que el tema del medio ambiente requiere de una gran sensibilidad para captar su verdadera importancia. También de un nivel de conciencia de la población acerca de sus principales fenómenos y relaciones causa-efecto y, además, de conocimientos específicos acerca de los problemas más relevantes a escala global, pero sobre todo en el ámbito nacional y local.

“Piensa globalmente y actúa localmente”, reza el dicho. Es decir, piensa en los efectos que tienen tus actos y los de quienes están cerca de ti, y actúa tratando de evitar los impactos negativos y maximizando los efectos positivos sobre el medio ambiente que ellos tienen.

En el tema de los residuos, sobre todo domésticos, la sensibilización y la toma de conciencia deben jugar un papel de primera importancia. Se trata de percibir valores ligados a la conservación de los recursos y del medio ambiente y de cambiar las actitudes de la población, partiendo de los hogares.

En dos ciudades que se ha trabajado (Durán de la Fuente, Hernán, 1998), Campinas (Brasil) y Córdoba (Argentina), se ha podido constatar la existencia de sistemas municipales que abren canales de información y participación del público acerca de temas ambientales. Se trata de sistemas de denuncia telefónica sobre hechos que dañan el medio ambiente urbano: emisión de gases por vehículos, quema de basura domiciliaria, la disposición final clandestina de residuos industriales a sitios prohibidos o a la red de alcantarillado, corte clandestino de árboles y otros hechos similares. Lo importante es el respaldo institucional y la seriedad del sistema. La municipalidad se hace responsable no sólo de la respuesta oportuna al público acerca de su llamado, sino de la toma de acciones de remediación, ya sea de su competencia directa o de otros servicios públicos. Es una forma práctica de educación a la población joven y adulta.

Las técnicas usadas para diseminar la información e informar al público son muchas y variadas, pero el tema sobresaliente es asegurarse de involucrar a la comunidad en el proceso de toma de decisiones (McQuaid-Cook, Jennifer, 1996).

En la participación ciudadana funciona aceptablemente la emisión temprana de los programas de educación pro-activa, el contacto constante con la comunidad, la participación de la comunidad en la solución de problemas, la disponibilidad de información de proyectos similares de otros lugares, el uso máximo de todos los medios de comunicación, un equipo

de proyecto accesible y confiable, la consistencia en el cuerpo de apoyo y la inclusión de los grupos de oposición en las reuniones.

Lo que no trabaja en la participación ciudadana son las reuniones públicas extensas, las presentaciones frías, el material técnico complicado, la desconsideración de la oposición y los oradores que aburren.

La consulta y participación ciudadanas tendrá éxito si el público es informado tempranamente, si la información es sencilla, si el público tiene la oportunidad de recibir respuestas, si las decisiones finales se basan en las opiniones recabadas y si la información reconoce los elementos socioculturales.

Los programas de concientización ambiental son, con frecuencia, una consideración menor en los planes municipales para el fomento del reciclaje, lo que constituye un manifiesto error y su ausencia puede retrasar o impedir el funcionamiento correcto de un programa de reciclaje y recolección selectiva. Esto parece contraproducente, sabiendo que el ciudadano poco a poco se está sensibilizando sobre los problemas medioambientales que afectan a su entorno más cercano, la ciudad (Berbel V., J., Porcel S., O. y Jiménez V., F., 1997).

Como experiencia de la ciudad de Córdoba, España, de un programa aplicado desde 1996, Berbel V., J., Porcel S., O. y Jiménez V., F. (1997) consideran que una campaña de concientización debe englobar a toda la población urbana, así como acercar el medio rural al urbano, por medio del uso del compost. Las campañas tienen varios objetivos, como son: la población escolar, adulta y de la tercera edad, grupos comunitarios y vecinales, trabajadores de servicios y empresas municipales, y el agricultor como usuario del compost fabricado. Para ello se emplean medios e instrumentos diferentes, según la población sobre la que se quiere actuar.

Entre las actividades educativas desarrolladas en Córdoba, destacan:

- ✕ La “Liga del Reciclaje”, en la que en su primer año participaron 80 centros escolares (45,000 personas) en una competición cuyo objetivo fue crear el hábito de separar y depositar en su contenedor específico las fracciones papel, vidrio y pilas. Dicha liga ha influido de manera decisiva en la recuperación total de materiales.
- ✕ Para la educación primaria el concurso “Canciones para una ciudad limpia” difundidas a través de radio y televisión locales.
- ✕ Talleres de reciclaje, en coordinación con el profesorado.

- ✘ Patrullas verdes, formadas por equipos de niños y en horario escolar que, mediante la observación, recriminaban el mal comportamiento de algunos ciudadanos respecto a la higiene urbana de la ciudad.
- ✘ Internos de la prisión provincial: talleres de reciclaje y salidas a entornos naturales para su mejora.
- ✘ Colaboraciones en fiestas populares: este tipo de colaboraciones son acciones paralelas a las actividades propias de un kiosco y un autobús de información.

IX. TENDENCIAS NORMATIVAS DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y RURALES.

9.1 EL PRINCIPIO BÁSICO DE LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo sostenida en Junio de 1992, también conocida como la Cumbre de la Tierra, fue adoptada la Agenda 21 como el plan de acción necesario para la prosperidad continua de la humanidad en armonía con las otras criaturas vivientes sobre la tierra en el siglo 21. La Agenda 21 está compuesta por cuatro secciones (Tanaka, M., 1997):

- ⊙ Dimensiones sociales y económicas.
- ⊙ Conservación y gestión de los recursos para el desarrollo.
- ⊙ Refuerzo del papel de los principales grupos.
- ⊙ Medios de implantación.

Estas secciones están subdivididas en un total de 40 capítulos que presentan planes de acción específicos en todos los campos. Los planes de acción relativos a los residuos están presentados en dos capítulos – Capítulo 20: Gestión con enfoque ambiental de los residuos peligrosos, incluyendo la prevención de tráfico ilegal internacional de los residuos peligrosos y Capítulo 21: Gestión con enfoque ambiental de los residuos sólidos y emisiones relacionadas con los residuos líquidos.

En el Capítulo 21, la atención está dirigida a:

- Minimización de los residuos.
- Maximización de la reutilización y reciclaje de los residuos con un enfoque ambiental.
- Estimulo de la disposición y tratamiento de los residuos con enfoque ambiental.
- Extensión de la cobertura de los servicios de residuos.

De acuerdo a Durán de la Fuente, Hernán (1998) el aspecto legal es uno de los componentes prioritarios de la política. Una vez definidos los objetivos y estrategias para el control y una gestión ambientalmente adecuada de los residuos, la autoridad política debe establecer un marco regulador, con leyes, reglamentos y normas que por una parte regulen el comportamiento de los agentes económicos y de la población, y por otro, las actividades de control y fiscalización de las instituciones públicas con alguna responsabilidad en esta materia.

Para establecer este marco regulador, la política pone en juego una serie de principios, los cuales orientan a los entes públicos y privados hacia los objetivos deseados y sirven de marco conceptual a leyes y reglamentos. Ellos son:

- ★ **Principio de sostenibilidad ambiental.** La política debe orientarse a obtener un comportamiento tal de los agentes generadores y responsables de los residuos en todas las etapas de su ciclo de vida, que minimice el impacto de ellos sobre el medio ambiente y éste pueda mantenerse como un conjunto de recursos disponibles en iguales condiciones para las generaciones presentes y futuras.
- ★ **Principio de “el que contamina, paga”.** Este principio es esencial en el problema de la asignación de los costos de prevención de la contaminación, ya que establece que son los generadores de residuos y, en especial los agentes económicos, las empresas industriales y otras, quienes deben pagar los costos que implica el cumplimiento de las normas establecidas. Este principio surgió en los años 60, en los países de la OCDE, cuando se vio la necesidad de controlar y establecer límites máximos a las emisiones de las actividades económicas y asignar los costos del tratamiento de aguas residuales y emisiones para cumplir las normas. Una incorrecta comprensión de este principio lleva a entenderlo en el sentido de que da derecho a contaminar a quien tiene dinero para pagar. Pero esto es un error, ya que nadie puede (o debe) sobrepasar los valores máximos establecidos por la norma, menos aún invocando este principio.
- ★ **Principio de precaución.** El principio sostiene que la autoridad puede ejercer una acción preventiva cuando hay razones para creer que las sustancias, los desechos o la energía introducida en el medio ambiente pueden ser nocivos para la salud o para el medio ambiente. Existe la idea de la prevención de riesgos sobre la base de antecedentes razonables, aún cuando no exista la prueba o la certidumbre científica del daño. El principio faculta a la autoridad fiscalizadora a proceder sin prueba concluyente del daño. Detrás de él está la idea de prevenir la acción de riesgos potenciales a la salud o al ambiente originados por la gestión de los residuos.
- ★ **Principio de responsabilidad de la cuna a la tumba.** Esto significa que, según la ley, el impacto ambiental del residuo es responsabilidad de quien lo genera, esto es, a partir del momento en que lo produce hasta que el residuo queda transformado en una materia inerte, eliminado o depositado en un lugar seguro, sin riesgo para la salud o el medio ambiente. Este principio ha sido aplicado en el Convenio de Basilea en relación con los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y su eliminación. Obviamente, se

refiere a residuos preferentemente industriales. No hay forma de aplicarlo a los residuos domésticos, donde la responsabilidad de la recolección, transporte y depósito final es de la municipalidad, es decir, donde el generador endosa su responsabilidad al estado.

- ★ **Principio de menor costo de disposición.** Este principio define una orientación dada en el Convenio de Basilea para que las soluciones que se adopten con relación a los residuos minimicen los riesgos y costos de traslado o desplazamiento, logrando que en lo posible los residuos se traten o depositen en los lugares más próximos a sus centros de origen.
- ★ **Principio de reducción en la fuente.** Sostiene la conveniencia de evitar la generación de residuos mediante el uso de tecnologías adecuadas, tratamiento o minimización en su lugar de origen.
- ★ **Principio de uso de la mejor tecnología disponible.** Se trata de una recomendación aplicable sobre todo en los países desarrollados para la licencia de funcionamiento de plantas industriales nuevas. La autorización de funcionamiento pasa por una demostración de que se están aplicando aquellas tecnologías que minimizan la generación de residuos, en especial los de naturaleza peligrosa. Es un principio poco aplicable en países con menores niveles de desarrollo y con dependencia tecnológica.

Más allá de los principios inspirados por la política, ésta fija un marco a los agentes económicos mediante normas y estándares. Dentro de ellas están las normas primarias y secundarias de calidad ambiental (según afecten a la salud de la población o al medio ambiente), normas de emisión, normas de procesos y normas tecnológicas, por ejemplo para la instalación de basureros.

La ley tiene además otros instrumentos legales que complementan el marco normativo, como los sistemas de evaluación de impacto ambiental, la declaración de zonas saturadas, latentes o de emergencia dentro del territorio, normas para la concesión de permisos o licencias de funcionamiento y otras.

El marco regulador ambiental y de residuos implica, en general, costos adicionales a las empresas, los que en última instancia deben pagar al consumidor. Existe la necesidad de adecuar la política de normas y estándares a las posibilidades nacionales, al estado de la tecnología, al tipo de parque industrial del país, a los niveles de concentración y saturación de los recursos suelo, aire y agua. Debido a ello las exigencias ambientales suelen ser menores en los países de América Latina y el Caribe que en los países desarrollados.

En América Latina y el Caribe la normativa es por lo general parcial e incompleta. Existen vacíos y hay códigos añejos que nadie respeta. La falta de cumplimiento y la insuficiente fiscalización de la ley son un problema. Además, los gobiernos temen aplicar normas muy severas debido a las presiones de los sectores empresariales por el aumento de los costos, pérdida de inversiones, desempleo, pérdida de ingresos tributarios y otras razones.

Las tecnologías limpias, si bien implican mayores inversiones, suelen estar asociadas a una mayor rentabilidad y a ventajas de competitividad y marketing de las empresas. Los empresarios latinoamericanos deben asumir que es ventajoso invertir en el medio ambiente. La mayoría de las veces la contaminación es una traba al propio desarrollo económico.

La normativa ambiental exige instituciones competentes, con recursos humanos y operativos, con financiamiento y equipos adecuados capaces de fiscalizar, monitorear y sancionar a quienes no cumplen. De otra manera la ley es letra muerta.

En la región latinoamericana, la institucionalidad ambiental es todavía muy precaria y muy plástica dado que se están creando servicios públicos nuevos, sean estos ministerios, comisiones o departamentos. En general, las atribuciones ambientales se están concentrando en instituciones específicas y también se están descentralizando.

Por otro parte, en la región existe la necesidad de desarrollar instituciones ambientales modernas, eficaces, con respaldo político, con capacidad fiscalizadora, con poder sancionador y con presupuesto.

En materia de control de residuos domésticos las instituciones existen en las municipalidades, pero no hay fiscalización de las condiciones sanitarias y ambientales de los propios depósitos de la basura domiciliaria urbana. Por otra parte, existe gran cantidad de basureros clandestinos sin control. Y en materia de residuos industriales o no hay normativa, o ella es muy precaria o no se fiscaliza adecuadamente. En las grandes ciudades se monitorea la calidad del aire, pero poco se sabe de la calidad de las aguas y de los suelos contaminados.

En relación con el tema económico, lo primero que debe señalarse es que la producción y comercialización de las tecnologías ambientales y los equipos para abatir la contaminación constituyen uno de los sectores de mayor crecimiento en los países desarrollados, a la vez que uno de los de mayor desarrollo en términos de ciencia y tecnología de punta. Esto refleja la profundidad del cambio tecnológico que se ha generado en todo el planeta a raíz de los problemas ambientales.

En realidad, el tema del medio ambiente es uno de aquellos donde aparece claramente reflejada la legitimidad de la intervención del estado, ya que el mercado, por si mismo, no ofrece un nivel adecuado de protección de los recursos. Por el contrario, la tendencia del capital y su necesidad de hacer ganancias en el corto plazo y minimizar sus costos, está llevando a situaciones críticas no sólo en términos de recursos naturales renovables, sino a niveles de contaminación intolerables en suelos, agua y aire.

Lo recomendable es que los gobiernos dispongan de una amplia gama de instrumentos económicos para incentivar el cumplimiento de las normas ambientales y orientar la actitud empresarial hacia prácticas más benignas con el medio ambiente.

Por lo general, la gama de instrumentos utilizados en este campo es muy pobre. Cuando más se emplean, más se utilizan las tarifas del servicio de aseo para residuos domiciliarios, las cuales suelen estar ligadas al impuesto territorial o de bienes raíces.

Pero existen muchos otros instrumentos que se han estudiado y que podrían ser utilizados. Desde el punto de vista del producto, uno que parece de mucha utilidad es el sello o etiquetado ecológico. Opera al nivel de las preferencias del consumidor, pero es también informativo y educativo. Mueve a las empresas a ofrecer productos más amistosos con el medio ambiente, a utilizar tecnologías más limpias y a hacer un manejo sostenible de los recursos naturales que usan como materia prima. En Europa y Japón, Canadá y otros países los sellos ambientales están bien difundidos. Existen normas claras para su asignación y son reconocidos y validados por el público. Asimismo, los sellos ambientales son cada vez más importantes en el comercio internacional.

Desde el lado de los procesos productivos existen instrumentos que garantizan el adecuado funcionamiento ambiental de una industria en particular. Entre los más relevantes, están las auditorías ambientales, las normas ISO 14 000 y las EMAS. En el fondo, una gestión adecuada de una batería de instrumentos permitirá inducir el cambio desde las soluciones "al final del tubo" hacia el uso de tecnologías limpias.

9.2 CONTEXTO LEGAL DE LA MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS (Salter, J., 1996). La ley europea concerniente a la obligación de estimular la minimización de residuos ha sido establecida a través de la adopción de la Directiva 91/156 enmendando la Directiva 75/442 sobre residuos. El Artículo 3 de la Directiva enmendada 75/442 requiere que los Estados Miembros tomen medidas apropiadas para estimular con prioridad la prevención o reducción de la producción de residuos, y su peligrosidad en particular. Para ello, mediante el desarrollo de tecnologías limpias más conservadoras de los recursos naturales y por el

desarrollo tecnológico y comercialización de productos diseñados de tal forma que hagan la menor contribución posible, por la naturaleza de su manufactura, uso o disposición final, a incrementar los riesgos de los residuos y los peligros de la contaminación.

De acuerdo con la Estrategia Comunitaria para Gestión de Residuos, el Parlamento Europeo y la Directiva del Consejo 94/62 sobre embalajes y residuos de embalajes se reconoce como una prioridad la minimización de los residuos de envases. La Directiva cubre todos los envases colocados en el mercado en la Comunidad y todos los residuos de embalaje, si son usados o liberados en el ámbito industrial, comercial, de oficina, tiendas, servicios, doméstico o cualquier otro. Embalaje significa todos los productos hechos de cualquier material y naturaleza a ser usados para contener, proteger, manipular, entregar y presentar los bienes, desde materias primas hasta productos procesados desde el productor al usuario o consumidor.

En Holanda siguiendo el reporte de 1988 “Care for Tomorrow, National Environmental Reconnaissance 1985-2000”, se publicó un plan de política ambiental nacional con un suplemento, el tema central del cual fue el desarrollo sustentable, un concepto que provee las bases de dos direcciones de la política de residuos en Holanda, la llamada prevención de residuos y la disposición a prueba de fugas. La disposición a prueba de fugas significa el reciclaje tanto como sea posible de los residuos que no pueden ser prevenidos y la disposición de los remanentes en tal forma que el riesgo ambiental se mantiene al mínimo.

En Francia el Acta principal del 15 de Julio de 1975 se aplica a todos los productos residuales y contiene provisiones para la reducción de los residuos industriales mediante el desarrollo de tecnologías especiales y la eliminación de los residuos sin afectar al ambiente. El Acta del 19 de Julio de 1976, junto con el Decreto del 21 de Septiembre de 1976, concierne a las instalaciones clasificadas para la protección del ambiente y regula la operación de estas instalaciones. El Acta del 13 de Julio de 1992 enmienda y suple las dos principales Actas e implementa la Directiva Marco de Residuos para Europa como se enmienda en 1991 en la Ley Francesa. El Acta del 22 de Enero de 1992, junto con un Decreto de la misma fecha sobre embalajes, tiene como primer objetivo la reducción de la cantidad de residuos y de su toxicidad.

En Alemania bajo el Acta de Gestión de Residuos que se aplicó a partir del 1 de Noviembre de 1986, se generó la nueva Ley “Acta sobre la Prevención y Gestión de los Residuos”, reforzando el principio de la reducción de residuos es la producción y consumo. El Artículo 1A de la Sección 1 del Acta de 1986 impone una obligación para minimizar la generación de

residuos mediante la prevención y reutilización de residuos, más allá de los generadores (Whiting, K.J. y Schwager, F.J., 1997).

De acuerdo con la Directiva Europea 89/369/EEC, el Gobierno Alemán establece el requerimiento de que los residuos sean reciclados tanto como sea posible, en el sentido de la jerarquía de gestión de residuos. La implementación está planeada para el 2005 cuando los residuos sólidos urbanos con un contenido de carbono mayor de 5 % deban ser tratados antes de la disposición final, debiendo ser reciclados sí:

- ⊙ Es técnicamente posible.
- ⊙ Los costos adicionales no son excesivos.
- ⊙ Existe mercado o puede ser creado, para los productos recuperados.
- ⊙ Es más ventajoso para el medio ambiente que otros métodos de gestión de residuos.

Similares legislaciones existen o se están planeando en muchos otros países de la Unión Europea, como se muestra en la tabla IX.1.

Tabla IX.1. Legislación futura para la disposición de RSU en los países europeos.

PAÍS	OBJETIVOS LEGISLATIVOS
AUSTRIA	Conduce a penalizar el depósito de los orgánicos (>5%) para el 2004
SUIZA	Penalización del depósito de residuos combustibles
FRANCIA	Penalización del depósito de residuos combustibles para el 2002
DINAMARCA	Penalización del depósito de residuos combustibles en 1997
HOLANDA	Penalizado el depósito de combustibles, papel y cartón. El depósito de RSU penalizado para el 2000
REINO UNIDO	La meta es reciclar el 25% para el año 2000. Actualmente alcanza el 6%

Fuente: Whiting, K.J. y Schwager, F.J., 1997.

9.3 POLÍTICA EUROPEA EN MATERIA DE RESIDUOS. Strange, Kit (1998) examina las siguientes cuatro áreas de la política en materia de residuos de 15 países europeos:

- Estrategias de residuos (las principales iniciativas de la política).
- Obligaciones de aceptación de devoluciones (el grado en que se asigna la responsabilidad de los residuos).
- Instrumentos económicos medioambientales.
- Gestión de los residuos domésticos peligrosos, RDP (como fracción importante de los RSU).

Por la importancia del tema, a continuación se sintetiza la discusión de las citadas áreas.

En **Bélgica**, la legislación sobre residuos se establece separadamente para las tres regiones (Flandes, Bruselas Capital y Wallonia). El gobierno de la región de Flandes introdujo como objetivo estratégico para los residuos la reducción de un 6 % para el año 2001 (partiendo de 1995 como base) y del 20 % para el 2006. Se han previsto prohibiciones para la eliminación en basurero, así como objetivos para la recolección selectiva de diferentes materiales.

Desde 1998, el Gobierno Flamenco Belga impuso la obligación de aceptar devoluciones a los vendedores, almacenistas y productores o importadores de pilas y baterías de coche. En pocos años se impondrá la responsabilidad del fabricante con respecto a los aceites de motores en Flandes y se continuará con otros productos.

En 1996, se recogieron selectivamente en Flandes 8.1 toneladas de RDP (equivalentes a 1.38 kg de RDP por persona y año). Todos menos uno de los 308 ayuntamientos flamencos recogieron los RDP selectivamente. La legislación flamenca sobre RDP incluye los siguientes elementos:

- El deber de cada municipio de organizar la recolección selectiva de los RDP.
- Puede organizarse la recolección selectiva mediante “parques de contenedores” municipales o un vehículo especial.
- Transporte (y/o recolección) debe ser realizado por un agente licenciado para ello.
- El tratamiento de los RDP sólo puede ser hecho por compañías con los necesarios permisos medioambientales.

En Flandes la recolección separada de los RDP es pagada por el municipio. Cada municipio puede fijar el nivel de sus tasas. Aproximadamente el 60 % de los RDP recogidos en 1996 se recicló, el 18 % se incineró y el 2.5 % se eliminó en basurero. Casi un 20 % se trató químicamente antes de su reciclaje, incineración o eliminación en basurero. Para ayudar a alentar la recolección de RDP en Flandes, el gobierno flamenco suministró a cada hogar un contenedor especial (con una cerradura a prueba de niños).

Bélgica usa tanto las tasas sobre el producto (eco-tasas sobre los productos no recuperados, cuchillas de afeitar y cámaras de usar y tirar, envases de pilas y bebidas) y tasas de eliminación (sobre la incineración y la eliminación en basurero). Para ayudar a poner en práctica la legislación sobre los RDP en Flandes, el gobierno flamenco concedió a los municipios algunas subvenciones para el equipamiento de parques de contenedores para la

recolección y almacenamiento de los RDP. Estas subvenciones llegaron al 60 % del costo total de la infraestructura.

En **Francia**, 1998 fue el año de concentrarse en la política de gestión de residuos, y el Ministro de Medioambiente Dominique Voynet fijó el objetivo de limitar la eliminación en basureros a los residuos inertes para el 2002, y disminuyendo la importancia de las instalaciones centralizadas de incineración para favorecer la separación en origen, el compostaje y otros proyectos de pequeña escala. Anteriormente, aproximadamente un 78 % del gasto en planes de gestión de los residuos en todas las regiones se habían asignado prioritariamente a instalaciones para la valorización energética de los residuos.

En Francia los recicladores de vehículos expresaron su preocupación sobre las operaciones ilegales de reciclaje de los vehículos fuera de uso. Se alegó que los “intrusos” sin licencia dañaban la profesionalidad del sector. En Francia, la responsabilidad del productor se considera el principal motor de cambio para el futuro, en productos tales como las pilas.

Francia traspuso en 1997 la legislación sobre pilas de la UE, implantando tasas de devolución sobre la cadena de suministro de pilas pequeñas de botón de mercurio y níquel. En Francia los RDP se cree que ascienden a alrededor de 0.5 % de los RSU. Esto es 130,000 toneladas anuales, o sea 2.2 kilogramos por persona por año. Se aplican diferentes políticas a los niveles nacional y local. Se ha marcado como objetivo la recolección selectiva y los tratamientos de los aceites usados, pilas, productos químicos domésticos, productos farmacéuticos y refrigerantes que contengan CFC. El vehículo elegido para los RDP es el sistema de “tráigalo Usted”. Para los productos farmacéuticos se estableció una organización “Cyclamed” para desarrollar un sistema de recuperación práctico.

La Agencia Francesa de Energía y Medio Ambiente ADEME pretende aumentar las subvenciones para los municipios que reciclan RSU. Éstas financiarán medidas municipales tales como la separación en origen, el compostaje y las instalaciones de digestión anaerobia. En Francia existe un interés creciente por la separación en origen de los residuos orgánicos para compostaje. Unas 40 estaciones de secado están procesando ahora alrededor de 400,000 ton por año de biomasa. Francia impone tasas de eliminación en forma de impuestos para la eliminación en basurero de los residuos urbanos y peligrosos. Existe una eco-tasa francesa sobre los aceites que parece ser el único flujo de RDP que atrae un instrumento económico.

En **Alemania** la Ley Federal de Gestión de Residuos y Reciclaje de 1996 intenta cerrar el ciclo del material y reducir el contenido de contaminantes en el flujo de residuos urbanos mediante:

- Sustitución de productos contaminantes por otros productos más favorables desde el punto de vista medioambiental.
- Recolección selectiva de los residuos que contengan productos contaminantes.

Una legislación diferente en Alemania sobre pilas y residuos de equipos eléctricos y electrónicos apoya esta tendencia general. El objetivo principal de esta política es eliminar de la basura doméstica:

- Metales pesados (plomo, mercurio, cadmio y níquel).
- Contaminantes orgánicos tóxicos a largo plazo, no degradables y acumulativos (cloro y CFC).

En Alemania, la agencia de recuperación de envases ha llegado a un acuerdo con las empresas de gestión de residuos para permitir la recuperación de residuos de equipos eléctricos y electrónicos y textiles, siempre que esto no imponga costos adicionales a la agencia. El parlamento alemán tiene la intención de obligar a las compañías que no se han unido a la agencia a demostrar que tienen un plan alternativo de recuperación en su lugar. La legislación sobre la aceptación de devoluciones de los coches de desguace entró en vigor en 1998. La ley reducirá la proporción de partes no recuperables en los coches del 25 % actual a no más del 15 % en el 2002 y el 5 % en el 2015. Alemania prevé redactar leyes sobre la aceptación de devoluciones de equipos de tecnología de la información. La chatarra de esta tecnología en los hogares será recolectada y devuelta por compañías de servicio público. Otra chatarra de tecnología de la información será aceptada por los fabricantes y reciclada o eliminada en basurero según sea apropiado. No debe sorprendernos el saber que los alemanes considerarán los residuos domésticos peligrosos como objeto de la justa aplicación de la responsabilidad de aceptación de devolución. En Alemania, a pesar de la falta de leyes detalladas, la aceptación de devoluciones está viva y funcionando para ciertas fracciones (productos farmacéuticos y pilas) de residuos domésticos peligrosos.

En Alemania, la Ordenanza sobre la Devolución y Eliminación de Pilas y Baterías Usadas, se transformó en la Ley del 27 de marzo de 1998. Desde octubre de 1998 es obligado aceptar la devolución de todas las pilas, independientemente de su contenido de sustancias nocivas.

Al mismo tiempo esta ordenanza transpone la directiva sobre baterías de la UE. La comisión europea ha hecho suyo a partir de entonces el enfoque completo de Alemania.

EL gobierno alemán espera que las obligaciones combinadas tendrán por efecto un aumento significativo en el reciclaje de pilas. En 1998 se fundó el sistema común de recolección de baterías portátiles en Alemania (GRS Batterien) integrado por los fabricantes de pilas, junto con la asociación del sector electrónico.

El Tribunal Supremo de Alemania – el Tribunal Federal Constitucional – ha fallado que un cierto número de los impuestos recaudados por las regiones ilegales. Aunque los impuestos medioambientales regionales son aparentemente legales en principio, deben estar de acuerdo con las leyes federales de medio ambiente. Esto incluye el impuesto de “Kassel” sobre los platos de papel y cubiertos de un solo uso. La asociación de municipios alemanes quedó desilusionada con este resultado ya que la medida era su único instrumento económico para la prevención de residuos.

En **Austria** la ordenanza federal sobre basureros de 1997 especificaba originalmente que los residuos sólo podían eliminarse en basurero si tenían un contenido total orgánico menor del 5 %. Un compromiso posterior permitió otro valor límite (6 megajulios/kg) y que las provincias no estuvieran obligadas a incinerar sino que pueden escoger otras opciones.

Austria ha promulgado leyes que definen más de 300 tipos de residuos peligrosos, alineando la legislación austríaca con la de la UE. Entretanto una compañía de Essen, Alemania, ha firmado un contrato par trabajar con compañías austríacas en la recolección y reciclaje de lámparas fluorescentes. En Austria, se venden cada año unos 6.6 millones de unidades, con una tasa de recolección del 60 % (objetivada para que aumente al 70 % en el año 2000 y al 80 % en el 2010). Aparentemente, unos 8 millones de tubos fluorescentes se reciclan en Europa cada año.

Austria, todo el que entregue una pila gastada en un punto de recolección aprobado recibe un tipo de depósito poco habitual, un billete de la lotería nacional. Este sistema está financiado por una tasa uniforme sobre pilas y es administrado por la industria.

Desde la entrada de **Suecia** en la UE en 1995, se ha estado trabajando en planes nacionales de residuos (anteriormente esta tarea estaba reservada a las autoridades locales y regionales). El Código Nacional de Medio Ambiente propuesto ha asignado a los productores (incluyendo fabricantes e importadores) la responsabilidad de ocuparse de los residuos. Donde se especifica, los productores deben cumplir unas cuotas de recuperación y

establecer unos planes de recolección. Los ayuntamientos están obligados a asegurar que los residuos domésticos sean recogidos y tratados adecuadamente. El gobierno sueco tiene poder para imponer la separación en el origen.

Una comisión intergubernamental sueca pidió la introducción masiva de la responsabilidad del productor en la política de gestión de residuos. La comisión Eco-Ciclo estuvo considerando los muebles (en 1997) pero después volvió su atención a un conjunto de mercancías mucho más amplio. Se está pidiendo a la industria que se comprometa a aceptar todos los productos al final de su vida útil. Este compromiso podría ser reforzado mediante un seguro obligatorio de producto. Suecia ha redactado reglas de aceptación para los residuos de equipo eléctrico y electrónico para poner en práctica la responsabilidad del productor, prohibir la eliminación en basurero de este flujo de residuos y establecer un esquema de certificaciones para los desguaces. Según la Asociación Sueca de Gestión de Residuos, los residuos domésticos peligrosos no son realmente un área de aplicación de la responsabilidad del producto. Más bien se consideran un servicio municipal con costos soportados por los residentes (o mediante sistemas de depósito como se hace con las pilas). Quizá esto cambie en el futuro y han tenido lugar algunas discusiones entre el gobierno y la industria sobre el caso en que las gasolineras pudieran llegar a ser responsables de la recolección del aceite de motor.

Suecia ha declarado su intención de hacer desaparecer gradualmente el mercurio donde sea posible, para reducir aún más las 2 toneladas anuales de mercurio emitidas en Suecia (ya reducidas desde 9 toneladas anuales en 1991). Las pilas, los termómetros y las piezas de automóvil han registrado caídas como resultado de las acciones del gobierno, los acuerdos de la industria y las innovaciones técnicas. Aparentemente no hay ninguna alternativa viable al mercurio para las bombillas. Parece que lo mismo ocurre para las amalgamas dentales (que representan la mitad del mercurio comercializado en 1997). El enfoque preferido en Suecia para la gestión de aceites usados, residuos químicos y otros RDP es estableciendo sistemas de aportación en zonas de equipamiento urbano y en algunas estaciones de servicio. Algunas autoridades locales usan todavía vehículos móviles de recolección, que visitan las zonas de recolección locales quizás 2 ó 3 veces al año. Otras celebran acontecimientos especiales, anunciados y promocionados localmente para alentar niveles razonables de participación.

Suecia ha desplegado una variedad de tasas sobre productos (eco-impuestos sobre pilas, fertilizantes, pesticidas, coches, materias primas de construcción y CFC) y tasas sobre la eliminación en basurero.

A principios de 1998, **Dinamarca** presentó un enfoque de “vuelta a lo básico”, con un informe que pretende conseguir el 50 % de reutilización/reciclaje para el año 2000. También se estableció la prohibición de eliminar en basurero los residuos incinerables para producir un impacto sobre los sistemas daneses de gestión de residuos.

El plan de Dinamarca para introducir un sistema nacional de aceptación de devoluciones para residuos de equipo eléctrico y electrónico no entró en funcionamiento en enero de 1998 como se esperaba. A diferencia de otros sistemas, el enfoque danés es que las autoridades locales sean responsables de la recolección y el reciclaje. Los hogares tienen derecho a devolver sus artículos usados gratuitamente, aunque en última instancia el pago puede derivarse de las tasas de recolección de residuos domésticos.

Dinamarca quiere eliminar el cadmio de la sociedad y la EPA danesa cree que el 90 % del cadmio en el medio ambiente procede de las pilas. Consiguientemente se introdujeron en abril de 1996 unas tasas de 0.9 US\$ por celda y de 5.3 US\$ por batería (de menos de 6 celdas). Estas eco-tasas producen 6 millones de US\$ al año que financian la recolección. La cantidad de pilas de níquel-cadmio recuperadas en Dinamarca se disparó de 35 ton en 1996 a 95 ton en 1997. Dinamarca ha introducido tasas sobre los productos (eco-tasas sobre las bolsas de papel y de plástico, envases de bebidas y materias primas de construcción) y tasas sobre la eliminación (en la incineración, con y sin recuperación de energía – y en basurero). Dinamarca también impone tasas sobre los residuos para su eliminación e incineración.

El objetivo medioambiental de los **Países Bajos** para 1998 fue la publicación del tercer Plan de Política Medioambiental Nacional (NEPP3), previsto originalmente para 1997. Las compañías de servicios públicos tienen a su cargo predominantemente la recolección de residuos domésticos. La prevención de residuos y la recuperación son conceptos firmemente engranados con la política y la práctica de gestión holandesa de los residuos.

Tras un estudio piloto pionero en los Países Bajos – el plan Apparettour – el gobierno holandés pudo redactar legislación de aceptación de devoluciones para los residuos de equipo eléctrico y electrónico, con políticas para artículos mayores efectivas en 1999, y las piezas pequeñas un año más tarde.

En los Países Bajos, los residuos químicos y los aceites usados se recogen selectivamente en los hogares y en otras fuentes. Las pilas pequeñas y otros RDP se han venido recogiendo desde hace más de 10 años, cubriendo el costo con fondos públicos. La política holandesa sobre pilas incorpora el concepto de desarrollo sostenible. La incineración y la eliminación en

basurero no se consideran opciones principales adecuadas de gestión, y el gobierno quiere ver nuevas opciones para reducir el volumen de residuos o para reutilizar materiales. Los objetivos de reducción y reutilización se resaltan en el primer y el segundo Plan Nacional de Política Medioambiental (1989 y 1994). En lo que puede considerarse como una meta ambiciosa poco realista, el objetivo del gobierno es recuperar todas las pilas selectivamente para el año 2000, seguido por la mayor recuperación posible.

Los Países Bajos han introducido tasas sobre los productos (eco-impuestos sobre los vehículos de desguace, las pilas y los marcos plásticos de puertas y ventanas) y tasas sobre la eliminación en basurero.

El Decreto Ronchi de **Italia**, promulgado en 1997, estableció un importante marco de gestión de residuos, aunque no ha sido puesta en vigor la totalidad de los 16 decretos especificados por el documento original. La ley estableció objetivos de reciclaje de RSU (25 % para el año 2000 y el 35 % para el 2005) pero sólo consiguió aumentar la recuperación de 6.7 % en 1996 al 8.6 % en 1997. El Decreto Ronchi también preveía obligaciones de aceptación de retorno de residuos de equipos eléctricos y electrónicos dirigidas por la industria.

En noviembre de 1997, Italia puso en marcha una red nacional de recuperación de refrigeradores usados mientras se discutía un plan de aceptación de devoluciones de ordenadores y receptores de televisión. Se contemplaba que el gobierno italiano y las autoridades locales cubrieran los costos de tres centros de recuperación. Los productores importadores pagarían por la recuperación y el reciclaje, mientras que los ayuntamientos pagarían por el transporte desde los vendedores (donde se devolverían los equipos viejos) hasta los centros de recuperación.

Italia introdujo tasas sobre los productos (eco-tasas sobre el polietileno) y tasas sobre la eliminación en basurero.

Portugal introdujo un plan estratégico de gestión de residuos en 1997 orientado a reestructurar drásticamente las prácticas de gestión de los residuos a escala nacional, disminuyendo la eliminación en basurero y aumentando los niveles de recuperación.

Irlanda promulgó una importante cantidad de legislación medioambiental en 1996. Dublín, la capital de Irlanda, ha llevado a cabo un amplio programa de debates sobre su plan de gestión de residuos, y está dispuesta a dar un importante empuje al reciclaje. La ciudad pretende ver disminuida la eliminación en basurero del 80 % actual (de todos los residuos no peligrosos) al 16 % en el 2004.

La ambición del gobierno de **España** era conseguir la aprobación de una ley de gestión de residuos. Ésta se produjo y la ley marco de gestión de residuos introdujo el principio de responsabilidad del productor acerca de los productos desechados. Los fabricantes deberán desarrollar sus propios planes de recuperación, aliarse con otros, o contribuir financieramente al sistema de gestión pública de los residuos. No se establecieron objetivos, aunque la ley se decanta a favor de la incineración para los residuos que no puedan ser reutilizados o reciclados.

En el **Reino Unido**, la Ley de Medio Ambiente de 1995 obligaba al gobierno a preparar tan pronto como fuera posible una estrategia estatutaria de gestión de residuos. Se preparó en 1995 una estrategia no estatutaria para Inglaterra y Gales. Ésta estableció unos objetivos primarios de reducir la eliminación en basurero de 70 a 60 % de los residuos controlados para el año 2005 y aumentar el reciclaje y recuperación de los RSU al 40 % para el 2005. La estrategia contenía otros objetivos secundarios y una variedad de planes para ayudar a conseguir los objetivos primarios. Inglaterra y Gales recuperan actualmente el 12 % de los RSU (6.5 % de reciclaje, 0.5 % de compostaje y 5 % de valorización energética). El gobierno instó a los ayuntamientos de Inglaterra a preparar nuevas estrategias de reciclaje. Esta directriz ayuda a las autoridades locales a preparar y revisar sus planes existentes y les induce a emplear el concepto de “la mejor opción medioambiental viable”. Se facilitó ayuda adicional a los ayuntamientos en forma de directrices en los planes de la Agenda Local 21.

En Gran Bretaña, el gobierno ha seguido promocionando el concepto de responsabilidad del productor, basado en primer lugar en sus obligaciones de aceptación de devoluciones. Siguiendo el esquema de los residuos de envases, se pide con insistencia a la industria que se enfrente a otros flujos de desechos prioritarios tales como pilas y los equipos eléctricos y electrónicos. La mayoría de las iniciativas están actualmente en fase de programa piloto, y las industrias invierten habitualmente algunos recursos para organizar o financiar planes con las autoridades locales. Un plan financiado por la CE será introducido en Gales para recuperar películas de plástico de desecho de las granjas. El gobierno está decidido a consultar sobre el asunto y puede aplicar obligaciones de responsabilidad del productor a esta cadena de suministro en particular que ha sido muy castigada en el pasado por el problema del intrusismo de los gestores independientes. Alrededor de 100,000 toneladas de plásticos se usan cada año en granjas, de las cuales la mitad son láminas (envolturas de ensilaje, cubiertas para las cosechas y los desechos de fermentación y sacos de fertilizantes).

En Gran Bretaña, el Foro Nacional de Residuos Domésticos Peligrosos, una agrupación de autoridades e industrias locales y otros, ha llevado a cabo estudios pilotos y ha publicado directrices sobre la buena práctica para un cierto número de componentes de los RDP. En muchos municipios se han dedicado a mejorar la gestión de los RDP aunque sólo sea proporcionando puntos de recolección en las zonas de equipamiento urbano. Desde septiembre de 1998, el plan de reciclaje de pilas REBAT del Reino Unido comenzó su funcionamiento, pretendía reciclar 200 toneladas de pilas recargables durante el primer año (aumentando a 600 toneladas en el 2000) mediante tasas de pago anticipado y centrándose en tres sectores (alumbrado de emergencia, herramientas motorizadas y teléfonos móviles).

El Reino Unido introdujo su primer instrumento económico medioambiental hecho ad hoc – la tasa de relleno sanitario – en octubre de 1996. Esto ha generado ingresos, algunos de los cuales se usaron para reducir los impuestos de los empresarios y otros han sido asignados a sólidos proyectos medioambientales. El Ministerio de Industria y Comercio del gobierno del Reino Unido ha otorgado un contrato para reciclar tubos fluorescentes usados, que son una fuente de mercurio (cada año el Reino Unido elimina 80 millones de unidades, de las cuales un millón proceden de departamentos del gobierno).

Suiza ha revisado su ordenanza de envases de bebidas para eliminar los gestores intrusos independientes (calculados en un 20 % del total). Desde abril de 1998, los manipuladores, fabricantes e importadores de envases no rellenables de PET y de aluminio deben informar a la Agencia Suiza del Medioambiente y adherirse a un plan adecuado de recuperación (o financiar su propio plan). Se han impuesto fuertes multas que fomentarán la participación. En 1998 se introdujeron leyes de aceptación de devoluciones para residuos de equipo eléctrico y electrónico pero no se establecieron objetivos específicos. Se ha dejado que la industria resuelva el problema de quién paga. La ley exige que los consumidores devuelvan sus equipos eléctricos y electrónicos usados, y no se tiren a la basura para su recolección. Los vendedores al detalle, los fabricantes y los importadores deben aceptarlos y tratarlos de una manera ecológicamente sensata. Una revisión de las leyes de reciclaje suizas sobre envases de bebidas obligará a la cadena de suministro de aguas minerales, bebidas no alcohólicas y cervezas a que contribuyan a los costos del sistema nacional de recuperación y reciclaje.

Desde octubre de 1998, la Legislación Suiza ha abandonado un acuerdo anterior voluntario para ocuparse de las pilas usadas. Se implantó una tasa de eliminación de pago por adelantado no reembolsable que ascendía a 0.20 francos suizos para las pilas de consumo común. La intención es aumentar la tasa de reciclaje de pilas desde el 60 % actual al 80 %. Los consumidores están obligados a devolver las pilas usadas a los vendedores.

Noruega, que no es miembro de la UE, ha introducido la responsabilidad del productor en el sector de los residuos de equipo eléctrico y electrónico, iniciando la obligación de aceptar devoluciones a partir de julio de 1999. Se establecieron tres organizaciones para imponer tasas de recuperación y reciclaje. El gobierno noruego alcanzó un acuerdo de cumplimiento con varias asociaciones comerciales. Los residuos de equipo eléctrico y electrónico deberán ser aceptados por los distribuidores que se ocuparán de su almacenamiento, clasificación y envío a puntos aprobados de recolección o a instalaciones de tratamiento. Los ayuntamientos deberán facilitar áreas de recepción pública para esos residuos de los consumidores, y son también responsables de su envío posterior para su recolección y tratamiento. Noruega introdujo un sistema de aceptación de devoluciones de teléfonos móviles y pilas de la compañía de telecomunicaciones estatal Telenor, aunque los fabricantes no se han visto implicados.

Noruega ha prohibido la producción, importación y exportación de termómetros que contengan mercurio (se exceptúan temporalmente algunas aplicaciones especializadas).

En **Polonia** se ha aprobado una nueva ley de residuos, pero no se dirige explícitamente a los RDP. Existe un sistema eficiente de recuperación de los aceites usados, que son reprocesados en una refinería. Cualquier RDP recogido selectivamente depende de sistemas de aportación voluntaria, con la excepción de las pilas y medicinas. Para éstas algunas tiendas proporcionan contenedores especiales. Las autoridades locales pueden regular los problemas de RDP en el ámbito provincial, pero generalmente no lo hacen. Se han puesto como objetivo las siguientes fracciones de RDP:

- Aceites – gestionado por compañías especializadas que operan en toda Polonia y también por las estaciones de servicio. Estos son reciclados en dos refinerías especializadas.
- Pilas – recolección en algunas provincias, usualmente sistemas de aportación voluntaria situados frecuentemente en las escuelas; se elimina en basurero separadamente.
- Residuos médicos y farmacéuticos – algunas provincias, aceptados por algunas tiendas; eliminados en basureros por separado o incinerados (región de Silesia).
- Baterías de automoción – aceptadas por las estaciones de servicio y reprocesadas en unas pocas instalaciones de plomo.
- Tubos fluorescentes – en algunas provincias, iniciativas ocasionales; se reciclan en dos instalaciones especializadas.

9.4 TENDENCIAS NORMATIVAS DE CALIDAD DE COMPOST. El análisis global de las diferentes normativas permite llegar a las siguientes conclusiones (Rodríguez Hurtado, E. y Giró i Fontanals, F., 1997):

- a) Según los datos consultados, parece que algunos países (España, EUA, Gran Bretaña, Francia, Japón) disponen de estas normativas más para autojustificarse y no tener un vacío legal en este ámbito, que para promocionar la calidad del compost y su correcta aplicación. Algunas de estas normativas recogen aspectos de poco valor y/o descuidan aspectos mucho más importantes. Por el contrario, hay países (Alemania, Austria, Holanda, Italia, Suiza) con normativas bien elaboradas, y que de algún modo u otro contemplan los aspectos más importantes. Toman en consideración no sólo la calidad del compost, sino incluso, a veces, las condicionantes impuestas para los suelos y los cultivos. En algunos casos, para un mismo país se puede encontrar información de normativas que revisan y modifican normativas precedentes, normalmente para adecuar algunos aspectos.
- b) Con relación a los niveles de humedad del compost, a menudo se solicitan intervalos mínimos-máximos, dando por entendido que el compost no debe ser demasiado húmedo ni demasiado seco. Los valores más frecuentes están en el intervalo de 30 a 50 %. Exageradamente elevados son los niveles máximos de este intervalo para normativas de los Estados Unidos de América.
- c) Parece que existe bastante acuerdo respecto a los límites máximos de conductividad eléctrica, dado que el intervalo es bastante estrecho, inferior a 2-4 dS/m.
- d) Respecto a los niveles de materia orgánica, cabe señalar que los contenidos mínimos oscilan entre el 20 y 40 %. Los niveles más bajos corresponden a aquellos países (Alemania, Austria, Holanda) que más frecuentemente utilizan sistemas cerrados para el compostaje, en los que la mineralización de la materia orgánica puede ser más intensa.
- e) Pocos países utilizan la relación C/N como parámetro de control de calidad, aunque algunos la soliciten en la declaración de la composición. Los valores más usuales son inferiores a 30.
- f) Existe bastante acuerdo respecto al contenido de nitrógeno orgánico (>0.8 % a >1 %); únicamente destaca la normativa francesa, que exige un mínimo de un 2 %, nivel difícilmente alcanzable según cuales sean los materiales iniciales utilizados para el compostaje. Pocos países mencionan exigencias referentes a las formas solubles de

nitrógeno (NO_3^- , NH_4^+) y a la variación de sus relaciones en el estudio de la evolución de la materia orgánica.

- g) Uno de los aspectos que menos parece preocupar, a pesar de ser uno de los más importantes, es el estudio de la estabilidad de la materia orgánica. Únicamente las normativas de Alemania, Austria, Holanda e Italia contemplan la necesidad de esta exigencia, mediante diversas técnicas (índice de respirometría, test de autocalentamiento, test de germinación, pruebas de crecimiento).
- h) Normalmente los contenidos de nutrientes (fósforo, potasio, calcio, magnesio) solo deben ser declarados; algunos países (Austria, Canadá, Unión Europea, Italia) piden unos contenido mínimos que son fácilmente alcanzables. En cambio no se consideran los contenidos asimilables de estos nutrientes.
- i) Respecto a la granulometría, casi todos los países piden un tamaño de partícula inferior a 25 mm. También es frecuente en algunos países la clasificación en diferentes medidas granulométricas.
- j) Las consideraciones sobre la higienización tienen doble vertiente: la ausencia de cualquier patógeno (aspecto reglamentado por Alemania, Austria, Holanda e Italia) y la limitación del número de semillas de malas hierbas (aspecto recogido en las normativas de Alemania, Austria y Holanda).
- k) Uno de los aspectos mas recogidos de las diferentes normativas es el de la limitación a la presencia de impurezas; para el vidrio, plástico y metales se exige menos de un 0.3 a 0.5% en la fracción de tamaño menor a 2 mm y para las piedras menos de un 3-5 % en la fracción de tamaño de menor de 5 mm.
- l) Un tema que a todos preocupa es la concentración de metales pesados. Existe gran disparidad de los límites fijados. Estas diferencias pueden ser de hasta 10 veces. A menudo esto sucede porque se adoptan los valores considerados adecuados para los lodos de depuradoras. Tal es el caso de la normativa española, que presenta unos límites de metales pesados muy superiores a las propuestas por el resto de los países, llegando a la exageración para el caso del límite máximo de mercurio (25 ppm de Hg).
- m) Referente a otro tipo de contaminación, hay ciertas limitaciones para dioxinas y PCBs en la normativa canadiense y en la de algunos estados de EUA.

Una normativa aplicable al proceso de compostaje de residuos orgánicos domésticos pudiera ser la Normativa de Control de Residuos Agrícolas que aplican varios estados de Canadá y EUA. Particularmente la Regulación 131/92 de British Columbia (Canadá) en su Código de Prácticas Agrícolas para la Gestión de Residuos describe las prácticas para utilización, almacenaje y gestión de residuos agrícolas que producen residuos, con las recomendaciones pertinentes para su manejo de una manera de respeto al medio ambiente. Entre sus apartados resaltan las recomendaciones para almacenamiento y uso de residuos agrícolas, aplicaciones y compostaje de residuos agrícolas, emisiones agrícolas, almacenamiento y uso de residuos de la madera, disposición en el campo o granja de restos de animales muertos, áreas de alimentación y accesos a las tomas de agua, uso y almacenamiento de productos agrícolas (B.C. Reg. 131/92, 1992).

X. FRONTERAS DEL CONOCIMIENTO.

Para América Latina y el Caribe las fronteras del conocimiento de la gestión de residuos sólidos urbanos se reflejan en las medidas a considerar para el futuro inmediato, tanto en el área técnica como en área de salud (Calvo R. F., Szantó N. M. y Muñoz J. J., 1998).

En el área técnica:

- ✕ Cuantificar y controlar los residuos peligrosos, evitando que se mezclen de forma incontrolada con los residuos municipales.
- ✕ Estandarizar y mantener los recipientes y el uso de contenedores en la vía pública, evitando los microbasureros.
- ✕ Mejora la cobertura de las zonas marginales de numerosas ciudades, realizando así una ordenación y planificación de la recolección.
- ✕ Exigir que los basureros controlados existentes cumplan las especificaciones técnicas requeridas, tendiendo a identificar y clausurar los basureros incontrolados.
- ✕ Tratamiento de los lixiviados y gases evitando la contaminación.
- ✕ Mantenimiento de las instalaciones existentes y las de nueva implantación para preservar la calidad de las mismas y su vida útil.
- ✕ Incremento del reciclaje y la reutilización de los materiales, siempre y cuando exista proyecto de prefactibilidad.

En el área de la salud:

- 🚫 Evitar los trabajadores informales o segregadores ilegales que manipulan los desechos.
- 🚫 Aislamiento de las poblaciones cercanas de los sitios de tratamiento de los residuos.
- 🚫 Dotar el equipamiento a los trabajadores del sistema con el fin de facilitar sus actividades de recolección, transporte y disposición final, aumentando así el rendimiento de los mismos y disminuyendo las enfermedades.
- 🚫 Fomentar la participación comunitaria, mediante la educación ambiental, lo cual producirá mejor separación y manejo en el origen, reduciendo los problemas de salud y facilitando la gestión a todos los niveles.

Obviamente todas estas medidas pasan por la mejora del área institucional, legal y económica, siendo necesario:

- ⇒ Fortalecer la existente debilidad institucional, reconociendo como sector formal al de residuos sólidos, mejorando la deficiencia administrativa por parte del Estado como ente normativo y fiscalizador.
- ⇒ Crear planes a largo plazo, marcando objetivos en el manejo y gestión de los residuos sólidos.
- ⇒ Legislar, dando coherencia entre las disposiciones jurídicas referidas a los residuos sólidos municipales, especiales y peligrosos y los riesgos que estos representan para la salud pública y el medio ambiente.
- ⇒ Mejoramiento de las políticas existentes sobre la reducción en la generación de residuos sólidos.
- ⇒ Evaluar los beneficios económicos que trae consigo la gestión adecuada de los residuos, ya que en la actualidad no existe ningún tipo de evaluación ni cuantificación sobre los mismos.
- ⇒ Facilitar la financiamiento del sector por parte de las municipalidades y de los recursos nacionales (federales o estatales).
- ⇒ Controlar la creciente privatización del servicio con el fin de conseguir la máxima calidad, transparencia y factibilidad en la prestación del mismo.
- ⇒ En cuanto a las tasas y tarifas del aseo, generalmente estas son mínimas por razones políticas y por la dificultad de su cobro. Es importante definir y estudiar este aspecto con el fin de lograr la autofinanciamiento en los países de la región latinoamericana y del Caribe.
- ⇒ Sin información contable sobre los costos de la gestión de los residuos sólidos no es posible determinar indicadores de eficiencia ni desempeño financiero. Esta falta de información constituye uno de los problemas a resolver.

Pasar por la lógica de la recolección y disposición final de los residuos sólidos hacia el control, minimización y reciclaje es el reto de los próximos años.

Compostaje y digestión anaerobia. La atmósfera legislativa actual de la UE promueve la recuperación de los residuos orgánicos. Por lo tanto, el compostaje y la digestión anaeróbica pueden alcanzar su potencial como prácticas de recuperación de residuos sólo si producen productos finales de buena calidad. De ahí la necesidad de desarrollar procesos orientados a la calidad del producto. Sin embargo, tiene que producirse legislación más

específica, particularmente para el permiso y operación de las plantas de digestión anaeróbica y compostaje (Bidlemaier, W. y Papadimitriou, E.K., 1998).

Respecto al compostaje, para alcanzar mayor economía y calidad es necesario emplear procesos más eficientes que pongan más atención a la gestión del ecosistema microbiano. Así, la investigación y el desarrollo deberían enfocarse hacia esa dirección.

La digestión anaerobia de concentración alta de sólidos posee una gran capacidad potencial de recuperación que, sin embargo, está en estos momentos inhibida por el costo que implica la práctica de este tratamiento. Los intentos sobre el mejoramiento de la estabilidad y el saneamiento del producto son centrales al respecto.

La falta de datos comprensivos del impacto ambiental producido por el compostaje y la digestión anaeróbica no permite la formación de una opinión clara para comparar dichas tecnologías.

BIBLIOGRAFÍA REVISADA

1. Abu Qdais, H. A.; Hamoda, M. F.; y Newham, J., 1997. ANALYSIS OF RESIDENTIAL SOLID WASTE AT GENERATION SITES. Waste Management & Research. Vol. 15, No. 4, pp. 395-405. ISWA. Copenhagen, Denmark.
2. Aguilar Rivera Margarita, Salas Vidal Hector. 1995. LA BASURA. Ed. Trillas México D.F.
3. Ali, I. y Ali, S. M., 1993, SOLID WASTE RECYCLING THROUGH INFORMAL SECTOR IN DEVELOPING COUNTRIES. Journal of Resource Management Technology. VOL. 21, No. 2, pp. 82-86.
4. Allen, C., 1998. A GUIDE FOR STUDY AND ACTION. Jornadas sobre Limpieza y Recogida en las Grandes Ciudades. Club Español de Residuos. Madrid, España.
5. Antana Sopaulo Nick. 1990. MANUAL DE MÉTODOS DE FLAMA PARA ABSORCIÓN ATÓMICA. Editado por GBC. Australia.
6. APHA-AWWA-WPCF. MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES. Ed. APHA-AWWA-WPCF. Madrid, España.
7. Appelhof, M.; Webster, K.; y Buckerfield, J., 1996. VERMICOMPOSTING IN AUSTRALIA AND NEW ZEALAND. BioCycle, Vol. 37, No. 6, pp. 63-66. USA.
8. ATEGRUS (Asociación Técnica para la Gestión de Residuos y Medio Ambiente). 1997. EL ESTADO DEL ARTE EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS. Editorial Board. Barcelona.
9. ATEGRUS. 1998. DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES, Revista Técnica Núm. 40. Enero- Febrero. Editorial Board. Valencia España.
10. ATEGRUS. CONFERENCIA ANUAL 18, 19, 20 DE OCTUBRE DE 1995. Editorial Board. Lérida España. ATEGRUS. CONFERENCIA ANUAL 19, 20, 21 DE NOVIEMBRE DE 1996. Editorial Board. Madrid España. ATEGRUS. CONFERENCIA ANUAL 7, 8, 9 DE JUNIO DE 1994. Editorial Board. Madrid.
11. B.C. Reg. 131/92, 1992. AGRICULTURAL WASTE CONTROL REGULATION. Waste Management Act, Health Act. http://www.qp.gov.bc.ca/stat_reg/regs/elp/r131_92.htm
12. Bartone, C. R. y Bernstein, J. D., 1993. IMPROVING MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT IN THE THIRD WORLD COUNTRIES. Resource Conservation Recycling. VOL. 8, No. 1-2, pp. 43-54.
13. Berbel V., J., Porcel S., O. y Jiménez V., F., 1997. LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA. Revista Técnica RESIDUOS No. 39. Bilbao, España.
14. Bidlingmaier, W. y Papadimitriou, E.K., 1998. RECOVERY OF ORGANICS: COMPOSTING AND ANAEROBIC DIGESTION. Jornadas sobre el Aprovechamiento Integral de Residuos y la Jerarquía Europea de Gestión. Club Español de Residuos, The European Waste Club y Generalitat Valenciana. Valencia, España.
15. Blight, G. E., 1996. STANDARDS FOR LANDFILLS IN DEVELOPING COUNTRIES. Waste Management & Research. Vol. 14, No. 4, pp. 399-414.
16. Boltze, U. y de Freitas, M. H., 1997. MONITORING GAS EMISSIONS FROM LANDFILL SITES. Waste Management & Research. Vol. 15, No. 5, pp. 463-476. ISWA, Denmark.
17. Bravo, Adrian. 1996. TÉCNICAS Y APLICACIONES DE CULTIVO DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FETIDA). México.
18. Bravo, María José. 1997. Varios artículos acerca de envases y residuos de envases. Publicación Ecosistemas, Número 19. Asociación Española de Ecología Terrestre. Madrid.
19. British Columbia Regulations. 1993. REGLAMENTO PARA LA PRODUCCION Y USO DE COMPOSTA. LEY DE GESTIÓN DE RESIDUOS. B.C. Reg. 334/93. O.C. 1295/93. Depositado en Septiembre 30 de 1993 (efectivo en Enero 1 de 1994) (Incluye correcciones posteriores a B.C. Reg. 340/93)
20. Cabral A.R. and Lefebvre. 1998. HEAVY METALS RETENTION IN SOILS. Biocycle Vol. 39 Núm. 9, Página 28. Septiembre, EE.UU.
21. Calvo R. F., Szantó N. M. y Muñoz J. J. 1998. SITUACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Revista Técnica RESIDUOS No. 43. Bilbao, España.

22. Capistrán, H. F. y Mosorini, C. F., 1997. LA BASURA URBANA EN EL ESTADO DE VERACRUZ. Revista La Ciencia y el Hombre. Universidad Veracruzana. Vol. IX. No. 26.
23. Carra, J. y Cossu, R., 1990. INTERNATIONAL PERSPECTIVES ON MUNICIPAL SOLID WASTES AND SANITARY LANDFILLING. ISWA. ACADEMIC P. INC. USA.
24. Castillo Berthier, Hector. 1997. BASURA, SOCIEDAD Y POLÍTICA. Ecológica – Los retos ambientales de la Ciudad de México. Pagina electrónica:
<http://www.txinfinet.com/mader/ecotravel/mexico/ecología/97/1197df3.html>
25. Castro Ruiz Renata, Mondragón Yáñez Jesús. 1999. Planificación de la recogida y valorización de los residuos sólidos domésticos en la zona conurbada Minatitlán- Cosoleacaque. Trabajo profesional dirigido por Barradas R., Alejandro. Instituto Tecnológico de Minatitlán, Veracruz.
26. Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto de la Ingeniería de España. 1995. LOS RESIDUOS COMO FUENTE DE RECURSOS. CIEMAT y Canal de Isabel II. España.
27. Consejería de Ordenación del Territorio Medio Ambiente y Vivienda. 1987. Cuadernos divulgativos en materia de residuos. No. 8. EL RECICLADO, APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, RECOGIDA SELECTIVA EN ORIGEN. MADRID.
28. Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda. 1987. Comunidad de Madrid. Cuadernos Divulgativos en Materia de Residuos. No. 1, Los Residuos Sólidos Urbanos. No. 4, Residuos Agrarios. No. 6, Los Lodos. No. 7, La Incineración. Madrid,
29. Contala N., H.; y Byer, P. H., 1997. EFFECT OF DESIGN VARIABLES ON PARTICIPATION IN RESIDENTIAL CURBSIDE RECYCLING PROGRAMS. Waste Management & Research. Vol. 15, No. 4, pp. 407-427. ISWA. Copenhagen, Denmark.
30. Cossu, R., Hogland, W. y Salerni, E. 1996. LANDFILL MINING IN EUROPE AND THE USA. The ISWA Yearbook 1996/7. ISWA. Copenhagen, Denmark.
31. Chang, N.; Chang, Y.; y Chen, Y.L., 1997. COST-EFFECTIVE AND EQUITABLE WORKLOAD OPERATION IN SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEMS. Journal of Environmental Engeneering. VOL. 123, No.2, pp 178-190.
32. Danish EPA. 1994. Ministry of environment and energy. Waste management in Denmark.
33. De Fraja, F. E. y Vismara, R. 1996. THE FUTURE OF COMPOSTING IN ITALY. The ISWA Yearbook 1996/7. ISWA. Copenhagen, Denmark.
34. De Fuentes Bescos, Gonzalo. 1985. VALORACION DE OBRAS.
35. De Uribarri, C., 1997. FROM TRANSFER STATIONS TO INTEGRATED WASTE PROCESSING FACILITIES. The ISWA Yearbook 1997/8. ISWA. Copenhagen, Dk.
36. Deffis Caso Armando. 1993. LA BASURA ES LA SOLUCIÓN. Ed. Concepto. México.
37. Departamento de Urbanismo, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. MANUAL DE EXPLOTACIÓN DE VERTEDEROS CONTROLADOS.
38. Deseano G. F. Del C., García R. L, Torres M. Del C. 1998. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL ÁREA RURAL DEL SUR DE VERACRUZ. Trabajo Profesional dirigido por Barradas R., Alejandro. ITM, Minatitlán México.
39. Diario Expansión. Coopers & Lybrand. MANUAL DE SEGURIDAD SOCIAL 97. Novedades legislativas y casos prácticos.
40. Dickinson, W., 1995. LANDFILL MINING COMES OF AGE. Solid Waste Techn. Vol. 9, No. 2.
41. Domènech, 1998. EXPERIENCIAS DE RECICLAJE DE PILAS, LAMPARAS Y ELECTRODOMÉSTICOS EN CATALUÑA. Simposio Internacional sobre la Prevención y el Reciclado de Residuos. ATEGRUS. Barcelona, España.
42. Dominguez J, Clive Edwards and Sattsubler. Abril de 1997. TESTING THE IMPACT OF VERMICOMPOSTING. Biocycle Vol. 38, Núm. 4, Pág. 58. Editorial Board. USA.
43. Donelan Peter. 1994 FETILIZACIÓN FOLIAR. Mini Serie de Autoenseñanza No.16 Editorial Ecopol. México D.F.
44. Durán de la Fuente, Hernán. 1998. GESTIÓN AMBIENTALMENTE ADECUADA DE RESIDUOS SÓLIDOS. UN ENFOQUE DE POLÍTICA INTEGRAL. CEPAL. Pagina electrónica
<http://www.cepal.org/espanol/proyectos/gtz/duran1.html>.
45. EOI. 1996. Escuela de Organización Industrial. EL MEDIO AMBIENTE EN ESPAÑA. Cuadernos EOI. EDICIONES MUNDI PRENSA. MADRID, BARCELONA, MÉXICO.

46. Fernández, J., Baldasano, J.M. y Gassó, S., 1998. GASIFICACIÓN EN LECHO FLUIDIZADO DE LA FRACCIÓN COMBUSTIBLE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. Revista Técnica RESIDUOS No. 45. Bilbao, España.
47. Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación; GTZ., 1991. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE CONSUMO ELÉCTRICO Y LA GENERACIÓN DE DESECHOS; Informe Final. Municipalidad de San José, Costa Rica.
48. Gallardo I., A., Tejero M., I. y Ferrer P., J., 1999. ALTERNATIVAS EN LA RECOGIDA SELECTIVA ANTE EL NUEVO MARCO NORMATIVO. VI Congreso de Ingeniería Ambiental, PROMA'99. Feria Internacional de Bilbao. España.
49. Gallego R. J., 1997. THE ROLE OF LANDFILLS IN THE CURRENT MANAGEMENT OF HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL WASTE IN SPAIN. The ISWA Yearbook 1997/8. ISWA. Copenhagen, Denmark.
50. García Jove, Carlos Cinovart. 1992. BIOGAS EN VERTEDEROS DE RSU. Revista Técnica Residuos No. 3. España 1992.
51. García Ramos, Mar. 1996. GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE ENVASES. Revista Técnica Residuos No. 32, Bilbao, España.
52. GEDESMA. 1998. LA RECOGIDA SELECTIVA DE RESIDUOS DE ENVASES EN LA COMUNIDAD DE MADRID. Revista Técnica RESIDUOS No. 43. Bilbao, España.
53. Giro Francese Fontanals. 1995. GESTIÓN Y UTILIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA AGRICULTURA. Editorial Aedos. Barcelona España
54. González, José. et al. 1998. PRODUCCIÓN DE SUELOS ORGÁNICOS MEDIANTE UN SISTEMA SEMICONTROLADO DE VERMICOMPOSTAJE UTILIZANDO LOMBRICES DE TIERRA (*Eisenia foetida*). Instituto Tecnológico de Mexicali. México
55. Gordon Julie Enero de 1998. HOME COMPOSTING IN BRITISH COLUMBIA. Biocycle Vol. 39. Núm. 1. Pag. 56. Editorial Board. EE.UU.
56. Goulias, D. G. y Juran, I., 1996. USE OF RECYCLED PLASTIC RESINS IN INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION MATERIALS. Proceedings of the 1996 12th International Conference on SW Technology and Management. Philadelphia, PA, USA.
57. Greedy, D.R. 1996. LANDFILL – WHAT FOR THE FUTURE?. The ISWA Yearbook 1996/7. ISWA. Copenhagen, Denmark.
58. Guzmán Gastón, Mata Gerardo, Salmones Dulce, Soto-Velazco Conrado y Guzmán –Davalos Laura, 1993. EL CULTIVO DE LOS HONGOS COMESTIBLES con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agroindustriales. 1ª Edición. Instituto Politécnico Nacional. México..
59. Guzman Roberto. Mayo de 1996. COMPOST REPLACES SOILS AMENDMENTS AT COUNTRY CLUB. Biocycle Vol. 37. Núm. 5. Pá.75. EE.UU.
60. Hams, S. y Becker, G., 1999. STATE OF THE ART OF SOURCE SEPARATION, COLLECTION AND TREATMENT OF ORGANIC WASTE IN GERMANY. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume I. Geneva.
61. Hauser, Robert, Jr., 1993. FUNDING SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEMS. SWANA 31st Annual Int. Solid Waste Exposition, San José Costa Rica.
62. Held, A., 1997. PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE VERTEDEROS. Revista Técnica RESIDUOS No. 30. Bilbao, España.
63. Held, Alejandro. 1997. PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS. Revista Tecno Ambiente No. 70. Marzo 1997. Madrid.
64. Hernández M. Aurelio, 1997. ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA Colección Señor Nº 6. U.P.M. Madrid, España.
65. Hernández M. Aurelio, 1997. SANEAMIENTO Y ALCANTARILLADO (Vertidos residuales). Colección Señor Nº 7. U.P.M. Madrid, España.
66. Hernández M. Aurelio, 1998. DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. Colección Señor Nº 9. U.P.M. Madrid, España.
67. Hueber, Dietrich., 1991. PLAN NACIONAL DE MANEJO DE DESECHOS DE COSTA RICA. San José, Costa Rica, Gobierno.

68. Hunt, R.G., 1995, LCA CONSIDERATIONS OF SOLID WASTE MANAGEMENT ALTERNATIVES FOR PAPER AND PLASTICS. Resource Conservation Recycling. VOL. 14, No. 3-4, pp. 225-231.
69. Victorio Lucio, Sampieri Gasperin. 1997. GEOGRAFÍA DE VERACRUZ. Instituto Nacional para la Educación de los Adultos (INEA). Xalapa Ver. México
70. INEGI, 1984. ANUARIO ESTADÍSTICO DE VERACRUZ. INEGI, 1990. VERACRUZ, RESULTADOS DEFINITIVOS. XI Censo General de Población y Vivienda. México. INEGI, 1994. CENSO AGRÍCOLA GANADERO. INEGI, 1994. MINATITLÁN, ESTADO DE VERACRUZ. Cuaderno Estadístico Municipal. INEGI. México.
71. Instituto Cerdá, 1997. GUIA DE GESTIÓN INTEGRADA DE RSU. España.
72. Irisson Name Soraida. 1995. CALIDAD DEL ABONO DE LA LOMBRIZ DE TIERRA RESULTANTE DEL LOMBRICOMPOSTAJE DE LA PULPA DE CAFÉ. Instituto de Ecología A.C. Jalapa, México.
73. ISWA, 1995. STATUS AND TRENDS FOR BIOLOGICAL TREATMENT OF ORGANIC WASTE IN EUROPE. Viena, Austria.
74. ITESM, Mayo 1997. Revista Calidad Ambiental. Vol. III, No. 3.
75. Jain, R.; Kashyap, R. P. y Raisinghani, M., 1996. SOLID WASTE DISPOSAL FROM VEGETABLE TRADE CENTRE OF JAIPUR CITY: AN INNOVATIVE APPROACH. Proceedings of the 1996 12th International Conference on Solid Waste Technology and Management. Philadelphia, PA, USA.
76. Japon, S., 1999. PET RECYCLING INTO HIGH VALUE FOAM STRUCTURES. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume III. Geneva, Switzerland.
77. Jensen Jim. Enero de 1998. WORM FARM TAKES ON NEW CHALLENGES. Biocycle Vol. 39, Núm. 1 pag.56. Editorial Board. EE.UU.
78. Katou, K. Y Sameshima, R., 1997. PLASMA MELTING OF MSW RESIDUE. The ISWA Yearbook 1997/8. ISWA. Copenhagen, Denmark.
79. Kikiewics, Z. y Mrozinski, A., 1999. THE PRESENT STATE AND LOOK TO THE FUTURE IN DEVELOPMENT OF PAPER FIBRE RECYCLING. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume III. Geneva, Switzerland.
80. Kingsbury, T., 1999. SOURCE REDUCTION EXPRESSED IN RECYCLING TERMS. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume I. Geneva, Switzerland.
81. Kolarova Katerina. 1995. MANAGEMENT OF SOLID WASTE IN THE CZECH REPUBLIC. U.S. & Foreign Commercial Service, American Embassy Prague, Czech Republic.
82. Labrador Moreno, Juana. 1996. LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS AGROSISTEMAS. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
83. Ladd, J., 1993. HOUSEHOLD HAZARDOUS WASTE COLLECTION: A BASIC APPROACH TO MANAGING A BASIC COMPONENT OF TODAY'S SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM. SWANA 31st Annual Int. Solid Waste Exposition, San José Costa Rica.
84. Larrauri, E., Irasari, L. M., 1999. SITUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN Y SEPARACIÓN AUTOMÁTICA DE PLÁSTICOS POST-CONSUMO PROCEDENTES DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. NUEVOS DESARROLLOS. VI Congreso de Ingeniería Ambiental, PROMA '99. Feria Internacional de Bilbao. España.
85. Larrauri, E., Robertson, C., Köhnlecher, R., Evangelou, M. *et al.*, 1998. SEPARACIÓN POR MEDIOS ELECTROSTÁTICOS DE PAPEL, CARTÓN Y PLÁSTICO EN DIFERENTES CALIDADES. Revista Técnica RESIDUOS No. 45. Bilbao, España.
86. Larraz Pedro. 1995. CUADERNO TÉCNICO DEL MEDIO AMBIENTE. Editorial Valero. España.
87. Larry Newton And Chris Burger. 1994. COMPOSTING SOURCE SEPARATED ORGANICS. Editorial Board. EE.UU.
88. Lemmes, B., REFLECTIONS OF THE EUROPEAN WASTE MANAGEMENT STRATEGY. Jornadas Internacionales sobre el Aprovechamiento Integral de la Materia Orgánica. Club Español de Residuos y Gobierno de Navarra. Pamplona, España, 1998.
89. Lizarraga Alicia, Ortiz Puy, Perez Matte. 1990. ¿Qué se puede hacer con tu bolsa de basura? Mancomunidad de la Comarca de Pamplona. España.
90. López Garrido, J. - J. Pereira Martínez - Francisco M. Vidal. 1975. BASURA URBANA. RECOGIDA, ELIMINACIÓN Y RECICLAJE. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona.

91. López Garrido, J. - J. Pereira Martínez - R. Rodríguez Acosta. 1980. ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona, España.
92. López Garrido, J. - J. Pereira Martínez - R. Rodríguez Acosta. 1982. LIMPIEZA VIARIA. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona, España.
93. López I., X. y Ansola, J. 1996. RECOGIDA DE RESIDUOS TÓXICOS DEL HOGAR. Revista Técnica RESIDUOS No. 27. Bilbao, España.
94. López I., X. y Ansola, J. 1997. EXPERIENCIA PILOTO DE RECOGIDA SELECTIVA DE RESIDUOS TÓXICOS Y PELIGROSOS CONTENIDOS EN LOS RSU. Revista Técnica RESIDUOS No. 34. Bilbao, España.
95. Lund, Herbert F. 1996. MANUAL MCGRAW HILL DE RECICLAJE. McGraw-Hill. MADRID, España.
96. MacDonald, M. L., 1996, SOLID WASTE MANAGEMENT MODELS: A STATE OF THE ART REVIEW. Journal of Solid Waste Technology Management. VOL. 23. No. 2, pp. 73-83.
97. Martínez O. C., 1998. Club Español de Residuos, NUEVAS TECNOLOGÍAS Y SU POSICIÓN EN LA JERARQUÍA DE PRINCIPIOS. II Foro Europeo sobre Residuos. Club Español de los Residuos, Madrid, España.
98. Masciandaro, G.; Ceccanti, B.; García, C., 1997. SOIL AGRO-ECOLOGICAL MANAGEMENT: FERTIRRIGATION AND VERMICOMPOST TREATMENTS. Bioresource Technology, Vol. 59, No. 2-3, pp. 199-206.
99. MASOUD KAYHANIAN AND BLAKE TRESSAN. Noviembre de 1996. Compressed Windrow Composting in California. Biocycle. Vol. 39 Núm. 11, Pág. 44. Editorial Board. EE.UU.
100. Mayne, N., 1999. THE POTENCIAL FOR POST-USER PLASTICS WASTE RECYCLING IN WESTERN EUROPE IN THE PERIOD UP TO 2006. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume I. Geneva, Switzerland.
101. McCarthy T.M., 1997. BIOGAS UTILIZATION. The ISWA Yearbook 1997/8. ISWA. Copenhagen, Denmark.
102. McQuaid-Cook, Jennifer. 1996. YES! IN OUR BACKYARD. The ISWA Yearbook 1996/7. ISWA. Copenhagen, Denmark.
103. Meyland Gerad. 1995. GESTION Y UTILIZACIÓN DE RESIDUOS PARA LA AGRICULTURA. Editorial Aedos. Barcelona España.
104. Miller Tyler G. 1994. ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE. Editorial Iberoamérica. México D.F.
105. Miller W. Raymond, L. Donahue Ruy. 1981. INTRODUCCIÓN A LOS SUELOS Y AL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS. Editorial Prentice Hall. Colombia.
106. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. "Métodos Oficiales de Análisis de Suelos y Aguas". Secretaría General de Alimentación. Madrid, 1994. Tomo III.
107. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. LEY SOBRE DESECHOS Y RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. LEY BÁSICA DE RESIDUOS TÓXICOS Y PELIGROSOS. MADRID.
108. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. 1.996. ACTUACIONES EN INFRAESTRUCTURAS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. Serie Monografías. España.
109. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Dirección General de Política Ambiental. 1996. 100 PREGUNTAS SOBRE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES. Madrid.
110. Monroy H. Oscar, Viniegra Gustavo. 1994. BIOTECNOLOGÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS DESPERDICIOS ORGÁNICOS. México.
111. Montes, L., 1998. ALTERNATIVAS PRESENTES Y FUTURAS DE RESIDUOS SÓLIDOS EN NUESTRO PAÍS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL DESARROLLO SUSTENTABLE.. Revista Federalismo y Desarrollo. BANOBRAS, Año II, No. 62.
112. MOPU. 1988. Dirección General del Medio Ambiente. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. Unidades Temáticas Ambientales. MADRID, España.
113. Morales, O. Ma., 1998. Técnicas de construcción de sitios de disposición final de residuos sólidos. Banobras. Revista Federalismo y Desarrollo. Año II, No. 62.

114. Morgenroth, E.; Schroeder, E. D.; et al., 1996. NUTRIENT LIMITATION IN A COMPOST BIOFILTER DEGRADING HEXANE. *Journal of the Air & Waste Association*. Vol. 46, No. 4, pp. 300-308.
115. Mortvedt J.J. Giordano P. M. Lindsay W.L.(1983). MICRONUTRIENTES EN LA AGRICULTURA. Editorial AGT. MEXICO D.F.
116. N.M. John, G.O Adeoye and Mc. Sridhar. Junio de 1996. COMPOST PELLETIZACIÓN EASES END USE NIGERIA. *Biocycle*, Vol. .37, Núm. 6. Pág. 58. Editorial Board. EE.UU.
117. Nichols, M., 1996. LANDFILL GAS ENERGY RECOVERY: TURNING A LIABILITY INTO AN ASSET. *Waste Age*. Vol. 27, No. 8. USA.
118. Nilsson, K., 1997. TREATMENT OF SOLID RESIDUES FROM WASTE INCINERATION. *The ISWA Yearbook 1997/8*. ISWA. Copenhagen, Denmark.
119. Nilsson, Per. 1996. SEPARATE COLLECTION OF BIOWASTE FROM HOUSEHOLDS. *The ISWA Yearbook 1996/7*. ISWA. Copenhagen, Denmark.
120. Nogales, R., Elvira, C., Benitez, E. y Gallardo-Lara, F., 1996. USO AGRÍCOLA DE COMPOST Y VERMICOMPOST DE BASURAS URBANAS (III): CAPACIDAD DE CESIÓN DE NUTRIENTES AL SUELO Y LA PLANTA. *Revista Técnica RESIDUOS* No. 29. Bilbao, España.
121. Nogales, R., Elvira, C., Benitez, E. y Gallardo-Lara, F., 1997. USO AGRÍCOLA DE COMPOST Y VERMICOMPOST DE BASURAS URBANAS (IV): RIESGOS SOBRE EL SUELO Y LA PLANTA. *Revista Técnica RESIDUOS* No. 31. Bilbao, España.
122. Noone, A. J., 1999. NEW MARKET OPPORTUNITIES FOR RECYCLED PET. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume I. Geneva.
123. NORM CRAMPTON. Vermicomposting in the Carolinas. *Biocycle* Vol. 38, Núm. 1, Pág. 71. Editorial Board. EE.UU.
124. Olabe, Antxon. 1998. RECOGIDA SELECTIVA DE RESIDUOS E INSTRUMENTOS ECONÓMICOS. *Revista Técnica RESIDUOS* No. 43. Bilbao, España.
125. ONU, 1998. Buenas prácticas del concurso Hábitat II de Naciones Unidas. Página electrónica <http://habitat.aq.upm.es/bpn/lista.html>. del 16 de octubre de 1998.
126. Outi K. Tolaven, et al., 1998. OCCUPATIONAL HYGIENE IN BIOWASTE COMPOSTING. *Waste Management & Research*. Vol. 16, No. 6, pp. 525-540. ISWA. Copenhagen, Denmark.
127. Papaspyrides, C. D., at al., 1999. HDPE BOTTLE CRATES-CLOSED LOOP RECYCLING EXAMPLE FROM GREECE. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume III. Geneva, Switzerland.
128. Peterson, Dana Rachelle. 1996. COMMERCIAL FOOD WASTE VERMICOMPOSTING TRIALS IN WELLINGTON. The Authority, New Zealand. Pagina electrónica.
129. Rawski, E. D. y Cole, C. A., 1996. CONVERSION OF OLD NEWSPAPER AND OTHER POST-CONSUMER RECYCLED PAPER TO REGENERATED CELLULOSE. *Proceedings of the 1996 12th International Conference on Solid Waste Technology and Management*. Philadelphia, PA, USA.
130. Robb Hall,R. 1998. Composting Trends and Technologies. Cornell University NY.USA. Consulta Internet Pag. <http://www.cals.cornell.edu/dept/compost/comp.trends.html>.
131. Rodríguez Hurtado, E. y Giró i Fontanals, F., 1997. LAS ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS. El estado del arte en la gestión de residuos. ATEGRUS, BARCELONA, ESPAÑA.
132. RVF. 1994. WASTE MANAGEMENT IN SWEDEN. The Swedish Association of Waste Management.
133. Sakai, S.; Sawell, S. E.; et al., 1996. WORLD TRENDS IN MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT. *Waste Management* VOL. 16, No. 5-6, pp 342-350.
134. Salter, J. 1996. A PRACTICAL APPROACH TO WASTE MINIMIZATION – LEGAL CONTEXT. *The ISWA Yearbook 1996/7*. ISWA. Copenhagen, Denmark.
135. Seddon-Brown, W., 1998. ENERGY AND WASTE MANAGEMENT. Jornadas sobre el Aprovechamiento Integral de Residuos y la Jerarquía Europea de Gestión. Club Español de Residuos, The European Waste Club y Generalitat Valenciana. Valencia, España.

136. Sharma, S. y Vasudevan P., 1999. UTILIZATION OF ORGANIC WASTE, THROUGH VERMICOMPOSTING ROUTE, FOR PLANTS'GROWTH. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume IV. Geneva, Switzerland.
137. Solans, R., 1998. APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGROPECUARIOS. Jornadas Internacionales sobre el Aprovechamiento Integral de la Materia Orgánica. Club Español de Residuos y Gobierno de Navarra. Pamplona.
138. Soliva T., Monserrat; Martínez F., Francesc X.; Rieradevall, Joan. 1995. REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS URBANOS EN AGRICULTURA (Jornadas Técnicas). Fundación "La Caixa" y Editorial AEDOS. Madrid, Barcelona, México.
139. Stentiford, E.I., 1998. DISEÑO DE UN PROCESO DE COMPOSTAJE PARA UN PRODUCTO ESTABLE Y SANEADO. Jornadas Internacionales sobre el Aprovechamiento Integral de la Materia Orgánica. Club Español de Residuos y Gobierno de Navarra. Pamplona, España.
140. Strange, Kit. 1998. World Resource Foundation. EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN EUROPA. II Foro Europeo sobre Residuos. Club Español de los Residuos, Madrid, España.
141. SWANA & NADO Research Fundation. 1995. RURAL COMMUNITY SOLID WASTE MANAGEMENT WORKSHOP. Washington, USA.
142. Szantó, N. M. 1996. Guía para la identificación de proyectos y formulación de estudios de prefactibilidad para el manejo de RSU. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social – Ilpes. Santiago de Chile.
143. Tanaka, M., 1997. RISK MANAGEMENT FOR LANDFILL DISPOSAL OF SOLID WASTE. The ISWA Yearbook 1997/8. ISWA. Copenhagen, Denmark.
144. Tang, H. M.; Hwang, S. J. y Hwang, S. C., 1996. WASTE GAS TREATMENT IN BIOFILTERS. Journal of the Air & Waste Association. Vol. 46, No. 4, pp. 349-354.
145. Tchobanoglous George, Hilary Theisen, Samuel A. Vigil. 1996. GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. Editorial Mc Graw Hill. España.
146. Thi Loan, N., 1999. CONVERSION OF MIXTURE OF WATER HYACINTH (EICHHORNIA CRASSIPES) AND DOMESTIC SOLID WASTE TO SOIL CONDITIONER BY COMPOSTING PROCESS. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume IV. Geneva, Switzerland.
147. Tilli, Risto. 1996. THE TREATMENT OF SPENT FLUORESCENT TUBES. The ISWA Yearbook 1996/7. ISWA. Copenhagen, Denmark.
148. Tiquia Sonia M. and Tam Nora F.Y. Febrero de 1998. COMPOSTING PIG MANURE IN HONG KONG. Biocycle Vol. 39, Núm. 2. Editorial Board. EE.UU.
149. Universidad Autonoma de Chapingo (Departamento de Suelos). Octubre de 1998. Anteproyecto: Norma Oficial Mexicana de Procedimientos de Análisis de Suelos y Certificación de Laboratorios. Editada por la Dirección General de Restauración y Conservación de Suelos. México D.F.
150. US-EPA, 1994. JOINING FORCES ON SOLID WASTE MANAGEMENT: REGIONALIZATION IS WORKING IN RURAL AND SMALL COMUNITIES. EPA Report 530-K-93-001 (44) Oct. 94. USA.
151. Val Alfonso, Del. 1993. EL LIBRO DEL RECICLAJE. Editorial Integral. Barcelona España.
152. Vergara i C. J.M., 1998. ESTRATEGIAS DE RECOGIDA EN BARCELONA. Jornadas sobre Limpieza y Recogida en las Grandes Ciudades. Club Español de Residuos. Madrid, España.
153. Vilan, C. Q., 1999. EFFICIENT COMPOSTING THROUGH TRICHODERMA APPLICATION. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration Congress Proceedings. Volume IV. Geneva.
154. Villegas, L., C. A., 1990. EXPERIENCIA LATINOAMERICANA SOBRE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS. CEPIS, Lima, Perú.
155. Weiss, Samuel. 1974. SANITARY LANDFILL TECHNOLOGY. Noyes Data Corporation. England.
156. Werner, M.; y Cuevas, J. R., 1996. VERMICULTURE IN CUBA. BioCycle, Vol. 37, No. 6.
157. Westlake, K., 1997. SUSTAINABLE LANDFILL – POSSIBILITY OR PIPE-DREAM? Waste Management & Research. Vol. 15, No. 5, pp. 453-461. ISWA. Copenhagen, Denmark.

158. Whiting, K.J. y Schwager, F. J., 1997. EUROPEAN TRENDS IN THE THERMAL TREATMENT OF SOLID WASTES. The ISWA Yearbook 1997/8. ISWA. Copenhagen, Denmark.